



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA

Facultat de Medicina i Odontologia

Departament d'Estomatologia

Tesis Doctoral

**PREVALENCIA DE ALTERACIONES EN
EL PATRÓN DEL SISTEMA DE
CONDUCTOS RADICULARES DE LOS
MOLARES MANDIBULARES**

Presentada por:

Lic. Da. Amaya Iturralde Garrote

Dirigida por:

Prof. Dr. D. Leopoldo Forner Navarro

Profa. Dra. Da. Ma Carmen Llena Puy

Programa de Doctorado: 99/2011 Odontología

Valencia, septiembre de 2018



Universitat de València

Departament d'Estomatologia

Facultad de Medicina i Odontologia

Tesis Doctoral

PREVALENCIA DE ALTERACIONES EN EL PATRÓN
DEL SISTEMA DE CONDUCTOS RADICULARES DE LOS
MOLARES MANDIBULARES.

Presentada por:

Lic. Da. Amaya Iturralde Garrote

Dirigida por:

Prof. Dr. D. Leopoldo Forner Navarro

Profa. Dra. Da. Ma Carmen Llena Puy

Programa de Doctorado: 99/2011 Odontología

Valencia, Septiembre de 2018



Universitat de València
Facultad de Medicina i Odontologia
Departament d'Estomatologia
Unitat Docent de Patologia i Terapèutica Dentàries

D. Leopoldo Forner Navarro y Da. M^a Carmen Llena Puy, Profesor y Profesora Titulares de la Unitat Docent de Patologia i Terapèutica Dentàries del Departamento de Estomatología de la Facultad de Medicina y Odontología de la Universitat de València,

hacen constar que,

la tesis doctoral titulada "Prevalencia de alteraciones en el patrón del sistema de conductos radiculares de los molares mandibulares", presentada por la licenciada Da. Amaya Iturralde Garrote, ha sido realizada bajo nuestra dirección y que reúne las condiciones necesarias para su presentación y defensa.

Lo que firmamos a los efectos oportunos.

Prof. Dr. Forner Navarro

Profª. Dra. Llena Puy

Valencia, 31 de julio de 2018.

AGRADECIMIENTOS

Al **Dr Emanuele Ambú** por su valiosa ayuda y por tan generosamente permitirme el acceso a su base de datos radiográficos, sin los cuales no hubiera sido posible realizar este trabajo de investigación.

A mis directores de tesis, la **Dra. Llena** y el **Dr. Forner**, por su apoyo y ayuda incondicional y su guía constante y sin reservas durante todo mi camino académico e investigador en el campo de la Endodoncia.

ÍNDICE

1	Introducción	p.19
1.1	Preámbulo	p.21
1.2	Anatomía Clínica del Sistema de Conductos. Revisión Bibliográfica	p.31
1.2.1	Morfogénesis e histogénesis de las raíces dentales y su sistema de conductos	p.38
1.2.2	Morfología del Sistema de Conductos de los Molares Mandibulares	p.45
1.2.3	Variaciones Morfológicas del Sistema de Conductos de los Molares Mandibulares	p.48
1.2.3.1.	Alteraciones que ocurren posteriormente al desarrollo dentario. Cambios relacionados con la edad	p.48
1.2.3.2.	Variaciones de la anatomía radicular y del sistema de conductos	p.51
	❖ Conductos en C	p.51
	❖ Raíces Supernumerarias	p.55
	❖ Conductos Adicionales. Conducto mesio-central.	p.58
	❖ Taurodontismo	p.61
	❖ Sinostosis Radicular	p.63
1.2.3.3.	Alteraciones que ocurren durante el desarrollo dentario. Cambios patológicos	p.65
1.2.4	Reconocimiento del Sistema de Conductos.	p.66
1.2.5	Clasificación del Sistema de Conductos.	p.75
1.3	Justificación	p.78
1.4	Objetivos	p.80
1.4.1	Objetivo General	p.80
1.4.2	Objetivos Específicos	p.80
2	Metodología	p.81
2.1	Búsqueda Bibliográfica	p.83

2.2	Recogida de Datos Radiográficos	p.84
2.3	Estudios de TCHC	p.85
2.4	Disociación de Datos	p.85
2.5	Visualización de Imágenes Radiográficas	p.85
2.6	Criterios de Inclusión	p.86
2.7	Exploración y Registro de Datos	p.86
2.8	Análisis Estadístico de los Datos	p.95
3	Resultados y Discusión	p.97
4	Conclusiones Finales	p.127
5	Referencias Bibliográficas	p.131

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y SIGLAS

AAE	<i>American Association of Endodontists</i>
AEDE	Asociación Española de Endodoncia
Alts.	Alteraciones
Cols.	Colaboradores
Fig.	Figura
Gráf.	Gráfico
nano-TC	Nano Tomografía Computarizada
RAE	Real Academia Española
TCHC	Tomografía Computarizada de Haz Cónico
μ -TC	Micro Tomografía Computarizada
χ^2	Test de la ji al cuadrado
ρ	Nivel de Significación Estadística

LISTA DE TABLAS, GRÁFICOS Y FIGURAS

Tabla 1	Hitos de la historia de la Endodoncia (Tabla basada en autores citados por Castelluci, 2006).	p.26
Tabla 2	Métodos de estudio morfológicos de la anatomía de los sistemas e conductos radiculares.	p.38
Tabla 3	Alts. patológicas de las raíces durante la histo- y la morfo-diferenciación (Alts. de forma y tamaño) (Gorlin y Boyle, 1966; Shafer y Levy, 2000).	p.65
Tabla 4	Alts. dentales producidas por trastornos en la fase de aposición dentinaria (alts. estructurales de la dentina) (Gorlin y Boyle, 1966; Shafer y Levy, 2000).	p.66
Tabla 5	Resultados de χ^2 para la correlación de variables entre primeros y segundos molares y hemiarcada izquierda y derecha.	p.101
Tabla 6	Resultados de la concordancia intraobservador obtenidos con el test Kappa de Cohen.	p.102
Tabla 7	Distribución dentro de la muestra del tipo de patrón morfológico radicular y del sistema de conductos según la clasificación de Zhang y cols., 2001.	p.104
Tabla 8	Distribución dentro de la muestra de la clasificación de la anatomía interna de la raíz mesial según Vertucci (1984)	p.107
Gráf. 1	Distribución de la muestra según tipo de diente.	p.99
Gráf. 2	Prevalencia de conductos en C en segundos molares según la clasificación de Melton (1991).	p.117
Gráf. 3	Prevalencia de las subdivisiones de los conductos en C clase III de los segundos molares.	p.117

Fig. 1	Tipos de conductos en C según la clasificación de Melton y cols. (1991).	p.54
Fig. 2	<i>Radix entomolaris</i> en un primer molar mandibular derecho.	p.57
Fig. 3	Tipos de conductos mesio-centrales según la clasificación de Pomeranz y cols. (1981).	p.60
Fig.4	Taurodontismo moderado (mesotaurodontismo) en un segundo molar mandibular izquierdo.	p.62
Fig. 5	Sinostosis radicular en un segundo molar mandibular izquierdo.	p.64
Fig. 6	Ejemplo de una raíz distal con cuatro conductos. Disto-bucal (DB), Linguo Disto-bucal (L-DB), Buco Disto-lingual (B-DL), Disto-lingual (L-DB).	p.76
Fig. 7	Ejemplo de una raíz distal con dos raíces (Disto-bucal -DBR- y Disto-lingual -DLR-) y tres conductos)Disto-bucal -DBr-, Linguo Disto-bucal -L-DBr-, Disto-lingual -DLR-).	p.76
Fig. 8	Ejemplos de conductos en C de conducto único (C-Cn-MB-ML) y de dos conductos (C-ML-DB, MB).	p.77
Fig. 9	Ejemplos de dientes descartados por no cumplir con los criterios de inclusión.	p.100
Fig. 10	Especímenes no clasificables por defectos en la calidad de la imagen.	p.103
Fig. 11	Configuración radicular más prevalente en molares mandibulares. Dos raíces (mesial y distal) y tres conductos (2 mesiales y 1 distal).	p.105
Fig. 12	Ejemplos de raíces mesiales con configuración de Vertucci (1984) tipo II (1ª y 2ª línea) y tipo IV (3ª y 4ª línea) vistos a través de los tercios coronal (C), medio (M) y apical (A).	p.108
Fig. 13	Ejemplos de raíces mesiales con configuración de Vertucci (1984) tipo I (1ª y 2ª línea) y tipo III (3ª y 4ª línea) vistos a través de los tercios coronal (C), medio (M) y apical (A).	p.109
Fig. 14	Ejemplos de conductos mesio-centrales en raíces mesiales de primeros y segundos molares mandibulares.	p.111
Fig. 15	Ejemplos de <i>Radix paramolaris</i> (flecha roja), encontrados en la muestra, vistos a través de los tercios coronal (C), medio (M) y apical (A).	p.113
Fig. 16	Ejemplos de <i>Radix entomolaris</i> (*) encontrados en la muestra.	p.114

Fig. 17	Molares no clasificables por presentar una raíz accesoria en la zona mesio-lingual (flecha roja), a través e los tercios coronal (C), medio (M) y apical (A).	p.115
Fig. 18	Vista de un segundo molar mandibular izquierdo, de cuatro raíces, por tercios (coronal -C-, medio -M-, apical -A-).	p.116
Fig. 19	Ejemplos de sistemas de conductos en C. De arriba abajo: tipo I, tipo II, tipo III sub. 1 y tipo III sub. 2 según la clasificación de Melton (1991) vistos por tercios (coronal -C- , medio - M- apical -A-).	p.119
Fig. 20	Diferencia entre sinostosis radicular (A) y un sistema de conductos en C (B).	p.120

INTRODUCCIÓN

1

1.1 Preámbulo.

Etimológicamente, la palabra “Endodoncia” es un neologismo formado por dos elementos léxicos de origen griego (RAE): *ενδο* (*endo*): dentro, interior de; y *οδοντος* (*odontos*): dientes. La Asociación Española de Endodoncia (AEDE), define la Endodoncia de la siguiente manera:

“Es una intervención que se realiza para intentar conservar un diente que de otra manera tendría que ser extraído. Consiste en la eliminación del tejido pulpar (“nervio”), que está dentro de las raíces dentarias, para mantener el diente y su función masticatoria”.

Desde el punto de vista médico y científico, el concepto que mejor define la visión y práctica de la Endodoncia actual es el dado por la *American Association of Endodontists (AAE)* en su *Glossary of Endodontic Terms*:

“La Endodoncia es la rama de la Odontología que se ocupa de la morfología, fisiología y patología de la pulpa dental humana y de los tejidos perirradiculares. Su estudio y práctica engloban las ciencias clínicas básicas, incluyendo la biología de la pulpa normal, la etiología, el diagnóstico, la prevención y el tratamiento de las enfermedades y lesiones de la pulpa y sus efectos en los tejidos perirradiculares.”

Esta definición se enfoca en dos áreas bien definidas, la descripción del órgano pulpar y sus estructuras adyacentes en un estado de salud y normalidad; y, en segundo lugar, el estudio de las enfermedades que afectan a estos tejidos y las consecuencias que sobre ellos tienen. De esta forma, los principales objetivos de la terapia endodóntica son: mantener la vitalidad pulpar, preservar y restaurar los dientes con pulpas dañadas o necróticas y preservar y restaurar los dientes con tratamientos pulpares previos que han fracasado.

Lo anteriormente dicho puede englobarse en un solo propósito: la eliminación de los factores etiológicos que causan daños pulpares para conseguir un ambiente dentro del sistema radicular de conductos que permita la curación de los tejidos perirradiculares y garantice el mantenimiento de la salud periapical en el tiempo (Garg y Garg, 2014).

No fue hasta mediados del S. XX cuando se llegó a esta definición contemporánea de la Endodoncia y su descripción y reconocimiento como la ciencia de la patología y la terapéutica dental que conocemos en la actualidad. Sin embargo, los primeros datos que se tienen de un tratamiento pulpar se remontan mucho más atrás. El hallazgo fue reportado por el jefe del Departamento de Patrimonio del Estado de Israel, quien informó que durante la realización de estudios radiográficos al cráneo de un guerrero nabateo, sepultado en el desierto del Negev, de hace unos 2.200 años, observaron un alambre de bronce de 2,5 mm de longitud en el interior del conducto radicular del incisivo maxilar lateral derecho. El mismo profesor explica que desde el S.XII a.C. existía la creencia de que el dolor dental se debía a la existencia de gusanos que penetraban en el diente y producían la enfermedad. Es por

esto que el diente habría sido sellado con el alambre metálico para evitar la entrada de los “gusanos dentales” y evitar más dolor dental (Ingle y cols., 1996).

Pero las primeras evidencias de caries dental se remontan a calaveras de unos 25.000 años de antigüedad y las primeras referencias escritas aparecen en textos sumerios del año 5.000 antes de Cristo. Los arqueólogos han encontrado, lo que podrían ser, las primeras obturaciones dentales en dientes de personas que vivieron alrededor de 8.000 años antes de Cristo. Ya en escritos egipcios de 3.700 años antes de Cristo se describe la enfermedad de los dientes y una mezcla de sustancias para aliviar el dolor (Handge y Nawathe, 2015).

En la antigua Mesopotamia también se creía que el dolor de muelas estaba causado por la corrosión del diente provocada por un gusano dentario, que no era más que la materialización de un demonio maligno; por esto para su destrucción recitaban un conjuro, encontrado en una tablilla de la biblioteca del rey Assurbanipal (López-Piñero, 1990).

Esta teoría del “gusano” no se limitaba exclusivamente a la zona del Mediterráneo, hay evidencias de que en el S. XIV a.C. en China también se creía que las caries y las enfermedades dentales eran causadas por gusanos que se introducían en los dientes. Se utilizaban compuestos arsenicales asociados a *Hovang-Tan* (excrementos de murciélago) en el fondo de las cavidades con el fin de “matar los gusanos” que habían colonizado el interior de los dientes y tratar la pulpitis (Tsao, 1984).

Hasta el S. XVI, los conocimientos y avances en el campo de la Endodoncia permanecieron estáticos y sumergidos en el empirismo. Fue entonces cuando Vesalio, Falopio y Eustaquio presentaron sus estudios descriptivos de la anatomía pulpar, aunque sin abandonar la “teoría del gusano”. Ambrosio Paré, recomendó la aplicación del aceite de clavo en el interior de los dientes infectados; y en 1602 Pieter van Forest publicó los primeros protocolos sobre terapia pulpar, donde postula que el diente debe ser trepanado y la cámara pulpar rellenada con triaca, que era un preparado compuesto por hasta 70 fármacos de origen vegetal, mineral y animal, incluyendo el opio, que se utilizó en Medicina desde el S.III a.C. hasta principio del S.XIX d.C. (Hoffmann-Axthelm, 1981).

En el S.XVIII d.C. comienza la época científica. En el libro *El cirujano Dentista (Le Chirurgien Dentiste)*, escrito por Pierre Fauchard en 1728, se describe el procedimiento del tratamiento de los conductos del diente enfermo. La técnica consistía en penetrar el suelo de la caries con una aguja para llegar al interior del diente y drenar los “humores retenidos” que causaban el dolor. Esta aguja debía estar sujeta con un hilo para evitar su deglución, en caso de que al operador se le escapase de los dedos. Además, recomendaba destemplantarla previamente para hacerla más flexible y facilitar su paso a través del conducto y la adaptación a las variaciones del mismo (Wolf, 1941).

Una vez limpios los conductos, se colocaban mechas embebidas en aceite de clavo, que se cambiaban periódicamente hasta que desaparecía la sintomatología. Por último se sellaba el interior del diente “emplomando” el conducto.

Es así como durante el S.XVII la práctica de la Endodoncia se limitaba al alivio del dolor causado por la enfermedad pulpar mediante la trepanación, cauterización y aplicación de medicamentos en el interior de los conductos (Bueno, 06).

Durante el S.XIX se siguieron realizando avances y descubrimientos que se introdujeron a la terapia endodóntica, se hace un resumen de las más importantes en la tabla 1:

<u>Año</u>	<u>Autor</u>	<u>Avance</u>
1836	S. Spooner	Recomienda el arsénico para la desvitalización pulpar
1838	E. Maynard	Limando el muelle de un reloj, fabrica el 1er instrumento para ensanchar limpiar los conductos
1847	E. Truman	Introduce la gutapercha como material de relleno radicular
1850	W.W. Codman	Confirma la capacidad de la pulpa estimulada de generar un puente dentinario (recubrimiento pulpar)
1864	S.C. Barnum	Introduce el aislamiento con dique de goma
1867	G.A. Bowman	Realiza obturaciones radiculares definitivas con conos de gutapercha
1867	E. Magitot	Sugiere el uso de la corriente alterna para valorar la vitalidad pulpar
1873	G.A. Bowman	Introduce el uso de grapas para el aislamiento absoluto
1876	A. Witzel	Utiliza el fenol como antiséptico sobre la pulpa residual
1885	W. Lepkowski	Introduce el uso de la formalina como fijador de la pulpa expuesta y evitar la infección
1891	O. Walkhoff	Esteriliza los conductos radiculares con paramonoclorofenol alcanforado
1893	W.D. Miller	Cree que los restos de tejido pulpar infectado causan los abscesos dentoalveolares y utiliza pastas momificantes basadas en formaldehído
1895	W. von Roentgen	Descubre una energía capaz de atravesar estructuras densas, a la que denomina Rayos X
1895	O. Walkhoff	Utiliza los Rayos X para realizar la primera radiografía dental

Tabla 1 Hitos en la historia de la Endodoncia (Tabla basada en autores citados por Castelluci, 2006)

Ya en el S. XX los avances continuaron con la descripción de las lesiones periapicales como zonas oscuras en las radiografías, por parte de Price (1900) o una técnica para determinar la longitud del diente y el límite de la obturación radicular hecha por Rhein en 1908 (Hoffmann-Axthelm, 1981).

La introducción de los rayos X en la práctica endodóntica, no fue tan beneficioso para la especialidad como se creía; ya que permitía observar los defectos e imperfecciones del tratamiento y la presencia de lesiones periapicales, que en 1904 Billings describió como “focos de infección”. Sobre este concepto describiría la teoría de la infección focal, como una infección localizada o generalizada causada por bacterias que viajan a través del torrente sanguíneo desde un punto lejano de infección (Grossman, 1976).

Previamente, Miller, en 1890, había demostrado la presencia de bacterias en el interior de los conductos y su papel en la patología dental, en su tratado *“Microorganisms of the human mouth”* (Grosso de la Herrán y Rodríguez-Ponce, 2003).

Aunque esta teoría no era nueva, ya en tablillas asirias de finales del siglo IX a.C. se habla de la infección dental como causa de los males del cuerpo. Lo explican de la siguiente manera: “la inflamación con la cual su cabeza, sus brazos y piernas están inflamadas es debido a sus dientes. Sus dientes deben ser extraídos, pues por ellos él está inflamado. El reducirá a través de sus canales internos y entonces sanará” (López-Piñero, 1991).

Hunter, en 1910, durante una charla en la Universidad de McGill (Montreal, Canadá) sobre la sepsis y antisepsis en Medicina, critica los procedimientos odontológicos, denuncia la poca asepsia con que se realizan y describe las restauraciones y prótesis dentales como “mausoleos de oro sobre focos de infección”. Habla ampliamente sobre la “sepsis oral” y su relación directa con enfermedades sistémicas como la anemia, la colitis, la gastritis, la fiebre oscura de origen desconocido, la púrpura, los disturbios neurales de todos los tipos, la afecciones reumáticas crónicas, las afecciones del hígado. Para él todas son una complicación grave proveniente de la infección bucal. Además creía que todas las enfermedades sistémicas podrían ser curadas mediante la extracción de dientes. En consecuencia, y por más de 40 años, los dentistas norteamericanos continuaron extrayendo dientes desvitalizados y más aun dientes con lesiones tumorales aunque tuvieran vitalidad, restauraciones extensas y puentes o coronas en buen estado (Baumgartner y cols., 2008; Gutmann, 2008).

La teoría de la infección focal se mantuvo vigente durante muchos años y determinó una escisión entre los endodoncistas distinguiéndose tres grupos. Por una parte estaban los que indicaban la extracción de todos los dientes endodonciados por temor a la infección, también llamados radicales. Un dentista inglés exhibió, durante la realización de un congreso, cuarenta niños, cuyos dientes habían sido extraídos como medida profiláctica de la "sepsis bucal" de Hunter. Los conservadores, seguían realizando el tratamiento endodóntico procurando usar los más poderosos e irritantes medicamentos que además de destruir a los microorganismos, destruían también a las células vivas, e intentaban mejorar las bases científicas de la técnica. Por último, los investigadores, Coolidge entre ellos, que en 1932, mostraron la

necesidad de un mayor respeto por los tejidos periapicales, de acuerdo con principios biológicos. Además, de intentar combatir las ideas de los radicales (Coolidge, 1960).

La escuela europea no compartió esta actitud extraccionista, que se dedicó a continuar investigando y haciendo tratamientos pulpares bajo nuevas técnicas de antisepsia, bacteriología, histología, diagnóstico y radiología para comprobar que los dientes desvitalizados podían permanecer en la cavidad bucal sin causar enfermedades. En este grupo se incluían dentistas como Coolidge, Johnson, Reihn, Callahan, Grove y Pritz entre otros (Anthony y Grossman, 1945).

La investigación y el trabajo de laboratorio que se realizó durante la primera mitad del S.XX comprobó que los dientes desvitalizados no tienen un papel directo en la aparición de enfermedades sistémicas. Es así como la teoría de la infección focal comienza a desmoronarse y perder fuerza. Se puede decir que el comienzo de la Endodoncia moderna lo marcan dos importantes hitos: la estandarización del instrumental endodóntico propuesto por Ingle y Levine en 1956, y la aceptación de la Endodoncia como una especialidad de la Odontología por la Asociación Dental Americana en 1963 (Grosso de la Herrán y Rodríguez-Ponce, 2003).

Desde entonces la investigación continuada, basada en aspectos clínicos y de laboratorio, ha permitido el desarrollo de nuevas técnicas, nuevos métodos de evaluación y selección de materiales, que han supuesto un aumento progresivo del porcentaje de éxitos (Bueno, 2006 ; Castellucci, 2006).

Entre las principales razones del fracaso del tratamiento endodóntico se encuentran la presencia de conductos sin tratar y la obturación incompleta de los mismos. Generalmente, los conductos sin tratar se deben a una ausencia en su localización y consecuente limpieza, por lo que es fundamental un conocimiento exhaustivo de la morfología del sistema de conductos antes de intentar cualquier tratamiento endodóntico (Vertucci, 1984).

Varios estudios sobre el éxito de los tratamientos realizados en décadas pasadas demostraron que el desbridamiento y desinfección incompletos del conducto radicular son los factores más importantes a tener en cuenta cuando se produce un fracaso del tratamiento endodóntico. Hoen y Pink, en 2002, señaló que dejar un conducto sin tratar era una de las principales causas de fracaso en tratamientos realizados en un diente por primera vez (tratamiento primario); además indicó que había relación entre la asimetría de la obturación del conducto de una raíz y la incidencia de conductos dejados sin tratar en el tratamiento primario (Nallapati, 2007); es decir, si al ver la obturación de un conducto en la radiografía, observamos que el mismo no está centrado dentro del contorno de la raíz, es muy probable que haya otro conducto que no ha sido tratado.

1.2. Anatomía Clínica del Sistema de Conductos. Revisión Bibliográfica.

La extracción del diente enfermo se puede evitar con el tratamiento endodóntico, haciendo posible mantener la funcionalidad y estética del diente afectado. El éxito de este tratamiento depende de la completa remoción del tejido pulpar afectado y el posterior relleno de todo el sistema de conductos (Acar y cols., 2015); por esto es fundamental conocer y entender la morfología del sistema de conductos para poder planificar y realizar el tratamiento endodóntico (Domark y cols., 2013).

Durante más de cien años se han llevado a cabo investigaciones sobre la anatomía interna de los dientes. Uno de los pioneros fue G.V. Black, quien hizo un estudio de la anatomía dental macroscópica interna y externa de los diferentes grupos dentales, siguiendo el curso de los conductos radiculares desde la cámara pulpar hasta el ápice. Para esto fijó los dientes a bloques de madera y los seccionó en sentido vestibulo-lingual y mesio-distal y teñía con cera negra los conductos expuestos (Black, 1902). Aunque la técnica tiene desventajas, como no poder demostrar la presencia de conductos laterales o ramificaciones apicales, ya que el uso de fresas altera la anatomía original y es difícil seguir las pequeñas ramificaciones, sirvió de base para investigaciones posteriores sobre morfología interna del sistema de conductos.

En 1901 Preiswerk desarrolló una técnica en la que dejaba la cámara pulpar pulpar expuesta y sumergida en agua durante tres semanas; pasado este tiempo vaciaba el contenido de la cámara y los conductos

radiculares y vertía en ellos una aleación metálica (metal de Wood), para obtener una copia de la anatomía interna. Al igual que con la técnica de Black, los modelos metálicos no reproducían las ramificaciones y conductos más finos (Mueller, 1936). Fischer en 1907, modificó la técnica utilizando una solución de celuloide disuelto en acetona para sustituir el metal, pero el celuloide se fracturaba fácilmente.

En un intento por conseguir materiales con mejores propiedades físicas, Hess (1925) investigó diversos materiales y eligió la vulcanita para sus experimentos con las raíces mesiales de los molares maxilares. Inyectó látex rojo dentro de los conductos y cámaras pulpares de dientes extraídos y luego vulcanizaba la goma para obtener el modelo del sistema de conductos una vez disuelto el diente. Estos modelos de vulcanita, aunque se criticaron por no poder ser relacionados a la anatomía externa del diente, se convirtieron en referencias para el estudio de la morfología del sistema de conductos (Hess, 1925; Barker y cols., 1969).

Durante la década de los setenta varios autores reprodujeron la técnica de Hess utilizando diferentes materiales, pero con la misma desventaja derivada de disolver los tejidos duros del diente; poliéster (Skidmore y Bjorndal, 1971), silicona (Davis y cols., 1972).

Otra técnica utilizada para estudiar el interior de los dientes es la tinción con tinta y posterior transparentización del diente. Las técnicas de tinción y transparentización permiten tener una visión tridimensional de la cámara pulpar y su relación con la superficie

exterior del diente, la desventaja es que no puede ser utilizada en estudios *in vivo* (Datta y cols, 2015).

El primero en hacerlo fue H. Morel (1914), utilizando tinta china como colorante y ácido carbólico para aclarar el diente. Este ácido con el tiempo cambiaba de color a un marrón rojizo (Brau, 2006). La tinta china también ha sido utilizada por más autores: Okumura, 1927; Aprile y Aprile, 1947; Madeira y Hetem, 1973; Hasselgren y Tronstad, 1975; De Deus, 1975; Robertson et al., 1980. En otros estudios la tinción se realizó con hematoxilina: Seelig y Gillis, 1973; Pomeranz y Fishelberg, 1974; Vertucci, 1984 (Pécora, 2005).

Según Okumura (1927), la diafanización era un buen método de investigación anatómica porque no alteraba la forma de las raíces, permitía ver claramente los pequeños detalles de la anatomía de los conductos radiculares y rara vez se producían errores durante la preparación de los especímenes que podían ser almacenados durante mucho tiempo después de su procesamiento.

Como agente diafanizador se popularizó el uso del xileno, utilizado por Okumura, 1927; Aprile y Aprile, 1947, Seelig y Gillis, 1973; Pomeranz y Fishelberg, 1974; Hasselgren y Tronstad, 1975; Vertucci, 1984, aunque posteriormente se describió el uso del metil-salicilato, porque transparentizaba el diente en la mitad del tiempo (Robertson y cols., 1980; Pécora, 2005).

El descubrimiento de las propiedades de los rayos catódicos por Wilhem Röntgen en 1895, trajo grandes avances al mundo de la Odontología. Las radiografías son muy útiles para determinar la longitud y número de los conductos radiculares, identificar el número, forma y dirección de las raíces, localizar raíces accesorias y evaluar alteraciones de los tejidos duros (Datta y cols, 2015).

El uso de las radiografías está ampliamente extendido en la investigación de la morfología del sistema de conductos radiculares. Los investigadores han radiografiado dientes extraídos desde varios ángulos y analizado las imágenes, algunas veces con ayuda de magnificación, para determinar la anatomía pulpar (Mueller, 1936; Pineda y Kuttler, 1972; Pineda, 1973; Zillich y Dowson, 1973).

También se han hecho estudios en los cuales se inyectaban soluciones radioopacas en el sistema de conductos antes de realizar las radiografías como ayuda para visualizar la anatomía interna de las raíces. Un ejemplo son las investigaciones de Barker y cols. en 1969, en las cuales inyectó silicona de baja viscosidad mezclada con plomo rojo antes de radiografiar los dientes. En 1973, Lowman y cols. utilizaron diotrizoato de sodio con un 2% de azul de metileno, para mejorar el contraste visual, lo introdujo en los conductos en condiciones de vacío y realizó radiografías mesio-distales y vestibulo-linguales de las muestras.

Hession, en sus estudios de 1977, describió una técnica en la cual sumergía los dientes en una solución radioopaca soluble en agua de iotalamato al 70% y los sometía a vacío. Después limpiaba la superficie

externa de las raíces y hacia radiografías desde varios ángulos. Para Hession la ventaja de esta técnica era que la solubilidad en agua del medio de contraste permitía que fuera lavado del sistema de conductos sin alterarlos. De esta manera se podían utilizar los dientes para estudios posteriores como, por ejemplo, el análisis de los conductos después de la preparación biomecánica.

La técnica de tinción y transparentización de los dientes es excelente para el estudio tridimensional de la anatomía del sistema de conductos, pero como explican Weng y cols. en 2009, al realizar la apertura cameral y la remoción del tejido pulpar se pierde información de su anatomía. Además, se pierde el detalle de los conductos laterales y de los deltas en el tercio apical, porque una vez que la tinta penetra por el foramen apical la presión negativa que se utiliza para facilitar la penetración de la tinta disminuye, y con ella la penetración del colorante en los conductos finos. Weng modificó la técnica y, después de limpiar y preparar los dientes, los sumergió en una solución de tinta china al 50% y los sometió a una presión de 0,6 Mpa en una cámara hiperbárica durante dos horas para que la tinta penetrara en el sistema de conductos bajo presión positiva estable. Después los desmineralizó y transparentizó para estudiar el sistema de conductos. Al comparar sus resultados con los de estudios anteriores, concluyó que su técnica era fiable y mejor que la tradicional.

A pesar de las mejoras de la técnica, la transparentización debilita la muestra haciéndola, en algunas ocasiones, muy frágil para poder ser manipulada. Además, la tinta china tiene una alta afinidad por las proteínas remanentes en los conductos radiculares lo que evita que

penetre en la totalidad de la anatomía del conducto radicular (Kim y cols., 2015).

La técnica de estudio ideal es aquella que es exacta, sencilla, no destruye la muestra y puede ser aplicada *in vivo*. Las técnicas mencionadas hasta ahora tienen ventajas e inconvenientes, pero quitando los estudios radiológicos, ningún estudio de laboratorio es capaz de reproducir de manera fiel a la realidad el sistema de conductos sin destruir las muestras (Domark y cols., 2013).

Desde su descubrimiento, los rayos X han sido de gran ayuda en la Odontología, tanto en el ámbito clínico como de investigación, y aunque autores como Yoshioka y cols. (2004) han concluido que los resultados obtenidos con métodos radiográficos son tan fiables como los obtenidos con la diafanización, las técnicas radiográficas convencionales siguen teniendo como principal desventaja que reproducen en dos dimensiones objetos tridimensionales (Hegde y cols., 2014). Este obstáculo pudo ser superado en 1972, con la invención de la tomografía computarizada por Sir Godfrey Hounsfield (Saber, 2013).

En 1990, Tachibana y Matsumoto reportaron el uso de la tomografía computarizada. Esta técnica permite visualizar las características morfológicas y patológicas desde una perspectiva en tres dimensiones, aunque su uso exponía al paciente a altos niveles de radiación y tenía un alto coste económico (Neelakantan y cols., 2010).

Más recientemente se ha extendido el uso de la Tomografía Computarizada de Haz Cónico (TCHC) o *Cone Beam Computed Tomography (CBCT)*, en inglés, que ha demostrado tener un alto grado de exactitud de imágenes, en todos los planos espaciales, permitiendo identificar el número de conductos del sistema pulpar en tres dimensiones y sin distorsiones, además de requerir una menor cantidad de radiación para su uso. También ha sido utilizado en estudios *ex vivo* sobre dientes extraídos, eliminando la distorsión y superposición de estructuras anatómicas vecinas (Matherne y cols., 2008; Blattner y cols., 2010; Michetti, 2010; Neelakantan y cols., 2010; Domark y cols., 2013).

Las perspectivas en el campo de la investigación han cambiado enormemente con la introducción de los nuevos métodos de imagen no invasivos y reconstrucción tridimensional. Uno de ellos es la tomografía micro-computarizada (μ -TC), capaz de proporcionar imágenes tanto bidimensionalmente como tridimensionalmente. Consiste en una fuente de rayos X de haz cónico y un micro punto focal que proporciona imágenes de alta resolución, que permiten un estudio tridimensional cualitativo, cuantitativo y a una escala micrométrica de las estructuras analizadas. Por ser un método no destructivo, es posible volver a escanear las estructuras para hacer estudios comparativos de los diferentes pasos clínicos relacionados con la terapia endodóntica, además se pueden analizar todas las estructuras dentales: conducto radicular, dentina, esmalte, anatomía interna y externa y tejidos desmineralizados o afectados por caries. El uso del μ -TC se limita a investigaciones *ex vivo* por la alta dosis de radiación y tiempo requerido para la adquisición de las imágenes (Crăciunescu y cols., 2016; Huang y cols., 2017; Queiroz y cols., 2017).

Los métodos de análisis de la anatomía radicular en los diferentes estudios han sido muy variados y se resumen en la tabla 2:

<u>Uso</u>	<u>Método</u>	<u>Descripción</u>
<i>In vitro</i>	Descalcificación y diafanización	El tejido duro se hace transparente mediante descalcificación y se colorea el sist. de conductos con tintes.
	Corte o sección	Se realizan cortes transversales o longitudinales de los dientes para analizar su morfología interna
	Técnicas de modelado	Se inyectan metales, plásticos o resinas en el sist. de conductos para obtener un molde del interior del diente
	Medios de contraste radioopacos	Se inyectan medios de contraste en el sist. de conductos y se observan mediante métodos radiográficos
	Micro TC	Análisis dental tridimensional de alta definición
<i>In vitro / In vivo</i>	Radiografías (analógica / digital)	Análisis dental bidimensional
	Tomografía computarizada	Análisis dental tridimensional
	TCHC	Análisis dental tridimensional de mayor definición

Tabla 2 Métodos de estudios morfológicos de la anatomía de los sistemas de conductos radiculares

1.2.1. MORFOGÉNESIS E HISTOGÉNESIS DEL SISTEMA DE CONDUCTOS.

El ser humano, al igual que en la mayoría de los mamíferos, tiene una doble dentición. Cada una de ellas corresponde a dos etapas distintas de su desarrollo: una primera dentición decidua constituida por 20

dientes, que es sustituida progresivamente por una segunda dentición permanente de 32 dientes, a partir de los 6 años de edad. Este fenómeno es conocido como “bifiodoncia”. Aunque la erupción de ambas denticiones se sucede en diferentes etapas de la vida y con varios años de diferencia, tienen un origen embriológico común y se forman de manera similar (Almenar, 1988).

Además, dependiendo de la posición que ocupen los dientes en la boca se observan diferencias morfológicas en sus coronas y raíces; distinguiéndose cuatro tipos de dientes: incisivos, caninos, premolares y molares. Este fenómeno es conocido como “heterodoncia” (Peterkova y cols., 2014).

El prolongado fenómeno de la odontogénesis se inicia durante el desarrollo del embrión y se extiende hasta la adolescencia. Este es un proceso dinámico y complejo en el cual se superponen diferentes fases e interacciones celulares y de tejidos (García-Barbero, 2011).

El desarrollo dental y la morfogénesis se produce gracias a una serie de interacciones ecto-mesenquimales. Los primeros signos de desarrollo dental son condensaciones focales, debajo del epitelio oral del futuro reborde alveolar, de células de la cresta neural que han migrado. El inicio de la formación dental implica la síntesis y secreción de factores de crecimiento por parte del epitelio oral, para inducir la diferenciación del estomesénquima situado bajo él (Hu y Simmer, 2007).

La compleja interacción entre el epitelio y el mesénquima inferior, procedentes de la cresta neural, y el papel que desempeña cada uno en la formación de los dientes dentro de los huesos maxilar y mandibular, se ha intentado explicar mediante diferentes teorías a través del tiempo: 1) teoría de la preexistencia, que consideraba que había cavidades preestablecidas dentro los huesos para alojar los dientes, en las cuales penetra el epitelio modelador; 2) posteriormente, se consideró que las modificaciones del mesénquima eran determinadas por un epitelio modificador; y 3) actualmente se sabe que es el mesénquima el portador de la información genética necesaria para la formación de los dientes y los tejidos anexos (Abramovich, 1997).

La formación de los dientes definitivos se produce, aproximadamente, durante el tercer mes de vida intrauterina. Seguidamente ocurren una serie de fenómenos del desarrollo, que dependen unos de otros y dan como resultado la formación de la corona dental a los 2,5-3 años de edad para los primeros molares y a los 7-8 años para los segundos molares; y la formación completa de las raíces entre los 9-10 años de edad en los primeros molares y los 14-15 años en los segundos molares (Nelson, 2014).

En el origen dental participan dos de las tres capas embriológicas, siendo de vital importancia el papel del ectomesénquima migrado desde las crestas neurales. El desarrollo dental se produce en tres fases continuas que se solapan entre sí: iniciación, morfogénesis e histogénesis. Durante la morfogénesis, la proliferación y migración celular determinan la forma del diente; posteriormente, en la etapa de histogénesis la diferenciación celular origina los tejidos mineralizados y

no mineralizados del diente, produciéndose la aposición de esmalte y dentina en la corona y de dentina y cemento en la raíz (García-Barbero, 2011; Berkovitz, 2009) .

Se han descrito tres etapas principales de desarrollo. Estas son los estadios de brote, casquete y campana. La etapa inicial o de brote se caracteriza por la proliferación de células epiteliales de la lámina dental en el interior del ectomesénquima. La división celular que sigue al estadio de brote origina una proliferación desigual en zonas del epitelio, dando como resultado una estructura cóncava, similar a un casco, denominada órgano del esmalte (Bhaskar y Orban, 1976). La unión del epitelio interno y externo del órgano del esmalte es llamado el asa cervical. Las células que forman este asa siguen proliferando y provocan la invaginación del órgano del esmalte en el mesénquima. Es así como el órgano del esmalte adquiere un aspecto campaniforme y se alcanza el estadio de campana (Ten Cate, 1986).

La primera etapa de la formación radicular implica la proliferación celular del epitelio interno y externo del órgano del esmalte que forman el asa cervical, dando como resultado la formación de una doble capa de células, conocida como la vaina epitelial de Hertwig. Esta vaina crece y prolifera apicalmente induciendo la diferenciación de los odontoblastos y rodeando la papila dental hasta envolverla casi completamente, excepto su parte basal (Gómez, 2002).

Esta vaina determina el tamaño, forma y longitud de las raíces dentales, induce la formación de dentina radicular y participa en el desarrollo del cemento. En la formación de un diente unirradicular, ambos lados de la

vaina crecen progresivamente hasta que solo queda un pequeño agujero de entrada. En los dientes multirradiculares, la vaina emite dos o tres lengüetas epiteliales en el cuello dirigidas hacia el eje central del diente, destinadas a formar por fusión el suelo de la cámara pulpar y, posteriormente, proliferar de forma individual en cada una de las raíces. Durante la formación de la raíz también se producen fenómenos inductivos, durante los cuales el epitelio de la vaina modela la futura unión cemento-dentinaria e induce la formación de dentina por dentro y cemento por fuera (Lisi y cols., 2003; Berkovitz, 2009).

En los dientes multirradiculares se da un proceso especial durante el cual se forma la bi- o trifurcación. Las estructuras principales implicadas en la formación de la furcación son unas proyecciones epiteliales en forma de lengua que se originan del asa cervical del órgano del esmalte; estas lengüetas están presentes durante la formación de la corona, pero permanecen inactivas durante el mismo. Estas proyecciones proliferan en el momento en que es tronco de la raíz esta formado, se unen y forman un puente continuo. El epitelio presente en el recién creado puente induce la proliferación de los odontoblastos que formarán la dentina del suelo de la cámara pulpar, de igual manera que lo hace la vaina epitelial de Hertwig en la periferia de la raíz. Entretanto las células del puente dentinario siguen proliferando y creciendo apicalmente junto con la vaina epitelial (Schroeder, 1991).

Una vez que se ha depositado la primera capa de dentina radicular, la vaina de Hertwig se fragmenta y pierde su continuidad y pasa a formar los restos epiteliales de Malassez. Estos restos, aunque no cumplen

ninguna función durante la odontogénesis, permanecen cercanos a la superficie radicular dentro del ligamento periodontal y son el origen del revestimiento epitelial de algunos quistes (Lindhe, 2005).

La desintegración de la vaina epitelial permite que las células mesenquimales, del folículo dental, alcancen la superficie externa de la dentina más superficial y se transformen en cementoblastos para la formación del cemento (Luder, 2015).

El inicio de la formación de la raíz ocurre poco antes de la erupción dental. En el momento en que el diente comienza la función masticatoria, solo se han formado 2/3 de la dentina radicular. La raíz completa su formación unos dos o tres años después de la erupción dental (Leeson, 1996).

Durante el desarrollo radicular, el diámetro del conducto radicular es mayor en el tercio apical y su apertura tienen forma de embudo. A medida que la formación de dentina continúa, el conducto se estrecha y la apertura reduce su tamaño. Al completarse el proceso formativo, el orificio de entrada se constriñe y se sitúa en posición excéntrica en relación con la punta de la raíz (Nelson, 2014; Kuttler, 1961).

En ocasiones, durante el crecimiento de la vaina epitelial de Hertwig, pequeños vasos sanguíneos procedentes del periodonto pueden quedar atrapados, rompiendo su integridad y creando una hendidura. Como consecuencia, la dentinogénesis no se completa en la zona de la hendidura, produciéndose un conducto accesorio. Estos conductos son

ramificaciones del conducto principal y comunican la pulpa con la superficie externa de la raíz, por lo que en caso de daño periodontal son una vía de entrada de irritantes externos. Se observan con más frecuencia en el tercio apical de la raíz. Si aparecen en los tercios medio o coronal se denominan conductos laterales y en el suelo de la cámara pulpar se llaman conductos furcales (Vertucci, 2005; Hargreaves, 2011; Przesmycka y Tomczyk, 2016).

En resumen, se puede decir que el proceso de formación radicular comprende:

1. La formación de la vaina epitelial de Hertwig, lo que marca la transición entre la formación de la corona y el desarrollo radicular.
2. El crecimiento apical de la vaina epitelial y el consiguiente elongamiento de la raíz dental.
3. La diferenciación de los odontoblastos y la dentonogénesis radicular.
4. La desintegración de la vaina epitelial y el inicio de la cementogénesis.

Schour y Massler, en 1940, determinaron que los efectos de una alteración durante la formación radicular depende del tiempo de acción y de la etapa del desarrollo dental en el que se produce la alteración. Si esta se produce durante el crecimiento y la proliferación se pueden diferenciar cúspides y raíces accesorias o, por el contrario, dejar de formarse y dar como resultado dientes con menos cúspides o raíces. La forma y tamaño del diente solo se puede ver afectada por alteraciones

durante el estadio de campana del órgano del esmalte cuando se determina el patrón morfogenético del diente (Keene y Keene, 1991).

1.2.2. MORFOLOGÍA DEL SISTEMA DE CONDUCTOS DE LOS MOLARES MANDIBULARES.

En el interior de los dientes se encuentra la cavidad pulpar, que aloja a la pulpa dental y es semejante al contorno externo del diente. La cavidad pulpar se divide en dos partes: la cámara pulpar, que se localiza en la corona dental, y el conducto radicular que corresponde a la raíz del diente (García-Barbero, 2011).

La cámara pulpar es una cavidad única de forma similar al perfil externo de la corona. La raíz anatómica está recubierta por cemento desde la unión amelo-cementaria, hasta el ápice. El conducto radicular comienza con un agujero en forma de embudo en el interior de la cámara pulpar, generalmente coincidiendo con la punta de cada una de las cúspides de la corona, y termina en un foramen apical que se abre sobre la superficie de la raíz entre 0 y 3 mm desde el centro del ápice radicular. A través de este agujero entra el paquete vásculo-nervioso al interior del diente (Przesmycka y Tomczyk, 2016).

Aunque, como ya expuso Vertucci en 1984, una raíz con un conducto cónico y acabado en un foramen apical es la excepción a la regla. La anatomía del conducto radicular a cualquier nivel de la raíz es muy compleja y es el resultado del desarrollo radicular posterior a la

erupción y al cierre del foramen apical debido a la aposición de dentina secundaria (Gulabivala y cols., 2001).

Los molares mandibulares no solo tienen un papel preponderante en la función masticatoria, también ayudan a mantener la dimensión vertical, la continuidad de la arcada dental, brindando soporte periodontal en las zonas posteriores del arco, y la posición de las mejillas y la lengua. Tanto el primero como el segundo molar tienen anatomías internas (raíces y sistemas de conductos) muy variables (Mărgărit y cols., 2012).

Estos molares son más grandes que cualquier otro de los dientes de su misma arcada, siendo los de mayor tamaño y fuerza de la arcada mandibular; también son los que realizan la mayor parte del trabajo de la masticación y trituración de los alimentos. El primero y el segundo molar se asemejan mucho entre ellos (coronas cuadrangulares), aunque al compararlos hay diferencias en el diseño oclusal, tamaño y longitud y posición de las raíces. El contorno de sus coronas es similar, tiene forma trapezoidal siendo más amplia por distal que por mesial y ambos tienen dos raíces, una mesial y otra distal (Ash y Nelson, 2004).

En su eje transversal, los conductos son de sección ovoide, con su mayor diámetro en el tercio coronal y el más estrecho en la zona de la constricción apical. En el eje longitudinal los conductos son más amplios en sentido vestíbulo-lingual que mesio-distal (Carrotte, 2004).

Los primeros molares mandibulares, generalmente presentan dos raíces: una mesial con una superficie mesio-distal estrecha y otra

vestíbulo-lingual más ancha; y otra raíz distal recta y redondeada (de Pablo y cols., 2010).

En la raíz mesial se encuentran dos conductos, que en el 90% de los casos acaban en dos agujeros apicales independientes y, en aproximadamente el otro 10%, se unen para acabar en un agujero común. Estos conductos suelen curvarse hacia distal en su tercio medio y apical. La raíz distal suele tener un único conducto ovalado o con forma arriñonada, a veces es posible encontrar 2 conductos distales bien por la bifurcación del anterior o por la presencia de una tercera raíz; solo el 14,3% de las veces son dos conductos distales independientes. El conducto distal suele ser recto hasta el ápice y en los 2 últimos milímetros apicales se curva 90º hacia distal (Kuttler, 1961; Ballullaya y cols, 2013; Calberson y cols., 2007).

El segundo molar mandibular es similar al primero, pero con raíces más cortas y conductos más curvos. Mayoritariamente presentan dos raíces, una mesial con dos conductos y otra distal con un conducto. Las raíces suelen estar separadas, pero en ocasiones se fusionan formando una raíz cónica con una anatomía interna variable y en ocasiones conductos en C. Es un diente mucho más compacto, con los conductos mesiales más cercanos entre sí y una menor incidencia de dos conductos distales (Vertucci, 1984; Gulabivala y cols., 2001; Carrotte, 2004).

En su estudio de 2008, Peiris y cols., aseguran que la raíz mesial de los primeros y segundos molares mandibulares tienen un solo conducto muy amplio hasta los 11 y 15 años de edad respectivamente (por la diferencia de edad en la que erupcionan). Además, la diferenciación de

los conductos radiculares no se inicia hasta 2-6 años después de finalizar el desarrollo radicular. Agrega que entre los 12 y 20 años para los primeros molares y los 16 y 30 años para los segundo molares, son un período de transición en el cual se observa un patrón mixto en la morfología del sistema de conductos radiculares. En esta etapa la aposición de dentina secundaria en sentido mesio-distal a lo largo de la raíz dental provoca la separación de los conductos radiculares. Esto concuerda con estudios realizados por el antropólogo inglés Simon Hillson en la década de los 90 y con las afirmaciones de Hess en 1925. Este último también afirma que la diferenciación de un conducto simple a un complejo sistema de conductos, ocurre con más frecuencia en raíces aplanadas o con muescas o hendiduras en su superficie externa.

1.2.3. VARIACIONES MORFOLÓGICAS DEL SISTEMA DE CONDUCTOS DE LOS MOLARES MANDIBULARES.

1.2.3.1. Alteraciones que ocurren posteriormente al desarrollo dentario. cambios relacionados con la edad.

La forma y el número de los conductos radiculares están, en gran medida, determinados por una serie de “tabiques” de dentina producto del crecimiento fisiológico de la misma. En los dientes jóvenes encontramos conductos radiculares amplios y simples, que debido a la aposición de dentina secundaria a lo largo de los años se diferencian en conductos más complejos, interconectados por conductos accesorios o laterales que forman un sistema. Esta diferenciación se ve con mayor frecuencia en raíces aplanadas con depresiones en su exterior; estas depresiones acercan las paredes dentinales del conducto entre sí, lo que

favorece la formación de dentina secundaria que divide el conducto original en dos o más (Gani y cols., 2014).

Y es que el complejo dentino-pulpar, al igual que el resto de tejidos del cuerpo, sufre cambios como efecto del paso del tiempo y la función. Uno de los cambios más relevantes es la disminución de volumen de la cámara pulpar y el sistema de conductos provocado por la continua aposición de dentina (Ten Cate, 1986; Hargreaves, 2005).

Aunque hay muchos signos histológicos que marcan el comienzo de la dentinogénesis, el momento en que se completa la producción de dentina primaria es más difícil de determinar. Hay estudios que usan la erupción dental para marcar el momento en que termina la formación de dentina primaria en la corona dental y comienza la de la aposición de dentina secundaria. Otras investigaciones señalan la presencia de dentina secundaria en dientes sin erupcionar; por esto han concluido que la formación de dentina secundaria se debe más a factores relacionados con la edad que con factores derivados de la función dental (Bernick y Nedelman, 1975; Bhaskar y Orban, 1976).

La dentina secundaria se deposita en la cara pulpar de la dentina primaria. Su depósito no se produce con una tasa y una distribución regular en todas las zonas del diente. Comienza en el suelo de la cámara pulpar, seguidamente se deposita a lo largo de los conductos radiculares y luego en el techo de la cámara pulpar; la velocidad de formación de dentina secundaria es mayor en edades tempranas y va disminuyendo con el paso de los años. Esto da como resultado una

reducción asimétrica en el tamaño de la cámara pulpar, si se compara con su forma inicial (Mjör y Pindborg, 1974; Kaya y cols., 2011).

En 1972, Pineda y Kuttler investigaron un total de 7.275 conductos radiculares a diferentes edades y vieron que con en edades avanzadas el diámetro de los conductos disminuía y el número y grado de curvatura de las curvas aumentaba. El mayor número de ramificaciones a partir del conducto principal se observó en el grupo de 35 a 45 años de edad y no en el de mayores de 55 años.

Aunque la actividad y la historia del diente (edad, desgaste, erosión, función) influya en la formación de dentina secundaria, su formación es parte del crecimiento normal del diente. Para Philipipas (1961) independientemente del desgaste, el crecimiento de dentina secundaria ocurre ininterrumpidamente a lo largo de la vida de un diente sano.

A pesar de ser un proceso continuo, la producción de dentina secundaria se acelera como respuesta a estímulos externos. Este tipo de dentina se denomina dentina reparativa o terciaria. Su aparición comienza en el momento en que los túbulos dentinarios son agredidos por un agente externo irritante como: atrición, abrasión, caries, tratamientos y materiales restauradores o tratamiento periodontal; esto provoca la inducción, morfodiferenciación y migración de nuevos odontoblastos (o células similares a ellos) a la zona afectada para producir la nueva dentina. Su formación es más rápida que la de la dentina secundaria, por lo que estructuralmente difiere de la dentina fisiológica y puede no proteger el complejo dentino-pulpar

adecuadamente. La cantidad de dentina reparativa que se forma alrededor del tejido pulpar es directamente proporcional a la cantidad de dentina que se ha destruido en la periferia del dientes, así como a la intensidad, duración y tipo de agente irritante. (Burke y Samarawickrama, 1995; Torneck y Torabinejad, 2002).

1.2.3.2. Variaciones de la anatomía radicular y del sistema de conductos.

❖ Conductos en C.

Los conductos en C son llamados así por la forma que presentan la raíz y el sistema de conductos en su sección transversal. La cámara pulpar tiene forma acintada, con un arco de 180° o más, que en molares mandibulares comienza en el ángulo mesio-lingual, se dirige arqueándose en sentido vestibular y termina en la zona distal de la cámara pulpar. Por debajo de la zona cameral, las raíces pueden presentar diferentes variaciones morfológicas. Estas se pueden clasificar en, aquellas que son un conducto acintado desde la cámara pulpar hasta el ápice y aquellas que pueden tener 3 o más conductos por debajo de la cámara en C (Raisingani y cols., 2014).

La primera referencia que se tiene de este tipo de conductos, aparece en los trabajos de Keith y Knowles (1911), recogidos en el artículo de Kato y cols. (2014). En ellos reseñan este tipo de morfología radicular en la sección transversal del segundo molar mandibular de un individuo Neanderthal, aunque no definieron ninguna nomenclatura específica

para esta alteración morfológica. En la descripción de la raíz apuntan que en la zona vestibular no se aprecia ninguna señal de división, y que por el contrario, en la zona lingual la raíz se separa mesial y distalmente a unos 7 mm por debajo de la corona.

Posteriormente, el primero en analizar detalladamente los conductos en C fue Nakayama (1941). Basándose en una serie de preparaciones de cortes de dientes, escribió una descripción morfológica y dio pautas para prevenir perforaciones durante el tratamiento endodóntico. Nakayama bautizó a este tipo de configuración radicular como conductos en forma de desagüe o *gutter-shaped canals*. En 1950, Tratman señaló que estos conductos aparecían con frecuencia en los segundo molares inferiores de personas asiáticas y los denominó conductos en forma de herradura (Kato y cols., 2014). En 1979, Cooke y Cox reportaron varios casos clínicos de este tipo y desde entonces se extendió el uso del término “conductos en C”. Después de una llevar a cabo estudios seriados, Melton en 1991 publicó una clasificación mostrando las diferentes variaciones que pueden presentar estas raíces.

Melton y cols. (1991) propusieron la siguiente clasificación anatómica del conducto en forma de C basada en un corte transversal del conducto (fig. 1):

- **I:** un conducto continuo en forma de C que va desde la cámara pulpar hasta el ápice sin ninguna separación
- **II:** un orificio en forma de coma, donde se distingue un conducto en C principal y un conducto mesial separado por dentina.

- **III:** se refiere a aquellos en los que existen dos o más conductos discretamente separados: **subdivisión 1:** orificio en forma de C en el tercio coronal que se divide en dos o más conductos y se unen en el ápice; **subdivisión 2:** orificio en forma de C en el tercio coronal que se divide en dos o mas conductos en el tercio medio hasta el ápice; **subdivisión 3:** orificio en forma de C que se divide en dos o más conductos en el tercio coronal hasta el ápice.

Lo más importante de la anatomía de este sistema de conductos es la presencia de istmos que conectan los conductos individuales y que modifican la anatomía tridimensional del conducto a lo largo de la raíz (Ordinola-Zapata y cols., 2014).

La forma y el número de la raíces está determinada por la vaina epitelial de Hertwig al invaginarse por debajo de la unión amelo-cementaria y fusionarse para formar la furcación. Un fallo en la fusión de esta lámina en la zona bucal o lingual de la raíz es la principal causa etiológica de las raíces y conductos en C. Las raíces en C también pueden estar originadas por la coalescencia de raíces causada por la deposición de cemento con el paso del tiempo. Es decir, que los conductos en C aparecen cuando las paredes vestibulares o linguales de las raíces se fusionan. Esta fusión es irregular y las dos raíces permanecen conectadas mediante una cinta interradicular -conducto en C- (Jafarzadeh y Wu, 2007).



Fig.1 Tipos de conductos en C según la clasificación de Melton y cols. (1991)

En otros estudios se encontró que la pared lingual de dentina de las raíces en C, es más delgada que la pared vestibular y escasa en túbulos dentinarios. A partir de esto formularon la hipótesis de que esta anatomía está causada por una formación de dentina más lenta en la

zona lingual, y que esta diferencia en la velocidad de formación de la dentina se debe a que, cada uno de los odontoblastos, ocupan una zona más amplia en la cara lingual que en la vestibular (Takahashi y cols., 1989 citado por Kato y cols., 2014, p.1018).

La incidencia o aparición de la configuración de conductos en C, tiene una variación étnica notable. Se ha llegado a reportar hasta un 30% de prevalencia en poblaciones asiáticas, mientras que raramente se observan en individuos de raza caucásica. Esta alteración morfológica se suele encontrar en segundos molares mandibulares, aunque también aparece en primeros molares mandibulares, molares maxilares, primeros premolares mandibulares e incluso en incisivos laterales maxilares (Gulabivala K y Ng Y-L, 2014).

❖ Raíces Supernumerarias (*Radix Entomolaris* y *Radix Paramolaris*).

Otra de las alteraciones que podemos encontrar en los molares inferiores son raíces extras o accesorias también llamadas *Radiculae appendiciformes*. Son raíces accesorias, generalmente más pequeñas, que pueden aparecer vestibular o lingualmente en todos los dientes (Alt y Türp, 1998).

El primero en describir una raíz distolingual extra en los molares inferiores fue Carabelli en 1884. En 1915, Bolk la denominó *radix praemolarica* ya que pensó que solo aparecía en los primeros molares mandibulares como un rastro residual de los terceros premolares de los primates, perdidos durante la evolución. Posteriormente se descubrió que estas raíces también aparecían en los segundos y terceros molares

(incluso en los temporales), fue cuando Mihály Lenhossék (1922) acuñó el término latino *radix entomolaris* (RE) (fig. 2) para nombrar esta raíz accesoria de los molares mandibulares. Esta nomenclatura denota su posición en la zona interna o lingual (del griego *entos* – interior-) (Štamfelj, 2014).

Cuando la raíz accesoria se localiza en la zona vestíbulo-mesial del diente se denomina *radix paramolaris*. La aparición de esta raíz siempre esta asociada a la presencia de un tubérculo paramolar ubicado igualmente en la mesio-vestibular (Alt y Türp, 1998).

Para ser considerado un *radix*, el molar debe tener 3 raíces con 4 conductos, no se debe confundir con los molares que tienen 2 raíces y 4 conductos. El *radix* se localiza lingualmente y su tercio coronal esta total o parcialmente fusionado a la raíz distal. Sus dimensiones pueden variar desde un pequeño apéndice de forma cónica hasta una raíz madura normal. En los tercios medio y apical puede presentar una inclinación mesial o distal que suele ser moderada o severa. Los conductos de estas raíces se caracterizan por tener abruptas curvas del tercio coronal en sentido distal y del apical en dirección vestibular. Los *radix* suelen ser más finos que el resto de raíces, con un diámetro apical medio de 0,25 mm. La entrada del conducto radicular, en la cámara pulpar, suele estar cubierto por una proyección de dentina (Calberson y cols., 2007; Nallapati, 2007; Souza-Flamini y cols., 2014).

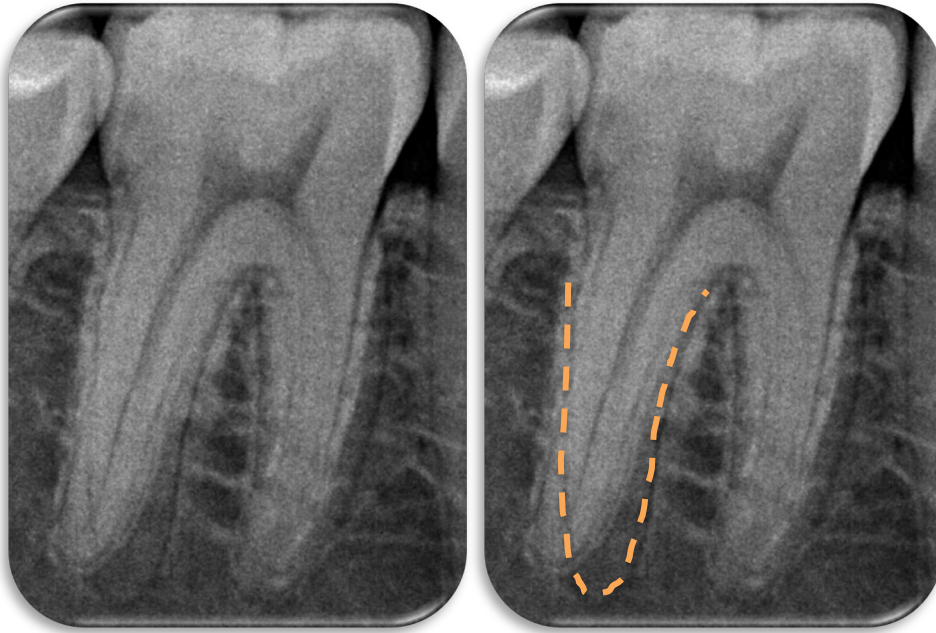


Fig.2 *Radix entomolaris* en un primer molar mandibular derecho

En poblaciones europeas (caucásicas) se ha reportado una incidencia de *radix entomolaris* entre un 3,4 y 4,2 %. En poblaciones africanas, de un 3%. En poblaciones indias y euroasiáticas, de un 5%. En poblaciones con trazas mongoloides como la china, esquimal y nativa americana, es de un 5 a un 40%. La prevalencia del *radix paramolaris* es de 0% en primeros molares, 0,5% en segundos molares y 2% en terceros molares (De Moor y cols., 2004; Calberson y cols., 2007).

La etiología de la aparición de las raíces supernumerarias no es clara, aunque existen varias teorías que intentan explicar su aparición. Estas incluyen una hiperactividad de la vaina de Hertwig (Oporto y cols., 2010) o una invaginación de la papila dental que da lugar a la raíz

accesoria, causada por la degeneración patológica de una zona de la vaina de Hertwig (Roig y Morelló, 2006). Estas causas se pueden aplicar en caso de raíces supernumerarias dismórficas. Cuando son raíces eumórficas con un alto índice de aparición, como en las poblaciones mongoloides, su aparición se puede deber a un gen atávico dominante de alta penetrancia que se manifiesta en el fenotipo de ciertas razas (Ribeiro y Consolaro, 1997).

Existe una hipótesis en la que se plantea que los *radix* aumentan la estabilidad y el anclaje alveolar del diente. Esta sujeción extra era útil en ciertas culturas primitivas que requerían mayor potencia y eficacia masticatoria; con lo cual esta tercera raíz podría ser un rasgo racial determinado genéticamente y no una anomalía ya que además hay variaciones en su frecuencia de aparición según las diferentes regiones geográficas (Rodríguez-Niklitschek y cols., 2014).

Clínicamente la identificación de los *radix* requiere una serie de radiografías desde diferentes ángulos. Se recomiendan 3 imágenes: ortorradial, mesiorradial (20 – 25°) y distorradial (20 – 25°). Aunque las radiografías periapicales son un método válido para identificar variaciones anatómicas, la TCHC proporciona información más precisa de la inclinación, curvatura y estructuras que rodean el *radix* (Souza-Flamini y cols., 2014; Choi y cols., 2015).

❖ Conductos adicionales. Conducto mesio-central.

No es del todo raro encontrar en las raíces mesiales de los primeros molares mandibulares la presencia de un tercer conducto en el centro de la raíz, conducto mesio-central (Nallapati, 2007).

En 1974 fueron dos grupos de investigación, los de Barker y Vertucci, los primeros en demostrar la presencia de un tercer conducto independiente en la raíz mesial de los primeros molares mandibulares utilizando la técnica de diafanización e inyección de tinta (Versiani y cols., 2016). En la definición que hizo Pomeranz y cols. en 1981, lo describe como una aleta, un conducto confluyente al conducto mesiovestibular o mesiolingual o un conducto independiente entre estos dos (fig 3). Para Mortman y Ahn (2003), el conducto mesio-central, no es un conducto adicional sino la consecuencia de instrumentar el istmo entre los conductos mesiovestibular y mesiolingual. Estos istmos aparecen entre el 54% y el 89% de los casos y contienen tejido pulpar que debe ser limpiado durante el tratamiento de conductos (Forner-Navarro y cols., 2007).



Fig.3 Tipos de conductos mesio-centrales según la clasificación de Pomeranz y cols.(1981)

Una amplia variedad de estudios ha intentado establecer, sin éxito, el grupo étnico como un factor predisponente para la aparición de los conductos mesio-centrales (de Pablo y cols., 2010), otros autores

apoyan la teoría de que estos conductos se localizan con mayor frecuencia en pacientes jóvenes y que su incidencia va disminuyendo con la edad. También se ha propuesto que durante el desarrollo de las raíces, el tejido pulpar se comprime por la formación de dentina secundaria que crea tabiques dentinarios dentro la raíz y la aparición de los conductos mesiocentrales (Versiani y cols., 2016).

❖ Taurodontismo.

Se trata de una de las anomalías morfológicas que se produce por una perturbación en el desarrollo dental que genera un diente de cámara pulpar elongada verticalmente, sin constricción a nivel de la unión amelo-cementaria y desplazamiento apical de la furcación radicular lo que da al diente una forma rectangular (Alt y Türp, 1998). Puede aparecer tanto en dientes deciduos como permanentes, en un molar aislado o en varios dientes del mismo cuadrante y puede ser unilateral o bilateral. En 1928, Shaw los clasificó en hipo, meso o hipertaurodontismo según el grado de desplazamiento apical del suelo de la cámara pulpar. El hipotautodontismo es el más leve, en el cual la cámara pulpar es ligeramente más elongada; el mesotaurodontismo es la forma moderada, en el que las raíces se dividen en el tercio medio (fig. 4); y el hipertaurodontismo es la forma severa, en el que la furcación se encuentra cercana a los ápices dentales y, en 1978 Feichtinger y Rossiwall apuntaron que en los dientes taurodónticos la distancia desde la furcación hasta la unión amelo-cementaria debía ser mayor que la distancia desde oclusal hasta dicha unión (Marques-da-Silva y cols., 2010; Dineshshankar y cols., 2014).

El término taurodontismo (diente de toro) proviene del latín *tauro*, que significa toro y del griego *odus*, que significa diente. Fue descrito por primera vez por Gorjanović-Kramberger en 1908, aunque no fue hasta 1913 que Sir Arthur Keith introdujo la palabra taurodontismo para referirse a este tipo de dientes, que se asemejaban a los de los animales ungulados (Jafarzadeh y cols., 2008).



Fig.4 Taurodontismo moderado (mesotaurodontismo) en un segundo molar mandibular izquierdo

Aunque la etiología del taurodontismo es desconocida, hay diversas teorías que intentan explicarlo, según la más aceptada es que se trata de un fallo en la invaginación de la vaina epitelial de Hertwig. El plegamiento de la vaina ocurre tarde con lo que la formación del puente de dentina que debe formar la furcación se retrasa, dando como resultado cámaras pulpares largas. Se ha hablado que esto se puede deber a la presencia de un gen atávico, ya que el taurodontismo estaba muy extendido entre los Neandertales. Otros estudios hacen referencia

a un fallo en la etapa de inducción epitelio-mesenquimal durante la dentinogénesis, una mutación que causa deficiencias odontoblásticas o un rasgo recesivo hereditario ligado al cromosoma X. De hecho el taurodontismo se asocia a varios síndromes y anomalías del desarrollo como la amelogénesis imperfecta, el síndrome de Down, alteraciones ectodérmicas, el síndrome de Klinefelter, el síndrome trico-dento-óseo, el síndrome de Mohr, el síndrome de Wolf-Hirschhorn o el síndrome de Lowe, y tiene una gran importancia en el diagnóstico de estos síndromes. También hay factores externos que inciden en la niñez o adolescencia y que pueden inducir a la aparición del taurodontismo: infecciones como la osteomielitis, altas dosis de quimio y radioterapia o trasplantes de médula (De Coster y cols., 2007; Jafarzadeh y cols., 2008; Bharti y cols., 2009; Dineshshankar y cols., 2014; Luder, 2015).

En la literatura se encuentra un amplio rango de valores de prevalencia de taurodontismo que va desde 0,1% hasta el 48%. Esto se puede deber a los diferentes criterios diagnósticos y a las variaciones raciales de las poblaciones; además, se ha reportado que es más frecuente su aparición en segundos molares mandibulares (Shifman y Chanannel, 1978; Jafarzadeh y cols., 2008).

❖ Sinostosis Radicular (Piramidalismo).

Cuando las raíces de un diente multirradicular se fusionan dando un aspecto de diente unirradicular, se habla de sinostosis radicular. Este tipo de alteración es frecuente en terceros molares maxilares y segundos molares mandibulares y se cree que puede estar determinado genéticamente. Las raíces adquieren un aspecto similar a una pirámide

y dan una impresión de tener menos raíces (fig. 5). Esta fusión puede ocurrir por coalición de raíces con falta de aposición de cemento entre ellas o el resultado de una falta de desarrollo de la vaina epitelial de Hertwig (Alt y Türp, 1998; Vázquez y cols., 2012).

Las fusiones causadas por exceso de aposición de cemento o raíces parcialmente fusionadas, no debe considerarse como sinostosis. Esta fusión radicular ocurre, sobre todo, en los segundos molares maxilares y su incidencia aumenta en personas de edad avanzada ya que se debe a la continua aposición de cemento a lo largo de la vida (Al Shalabi y cols., 2000; Zhang y cols., 2014).

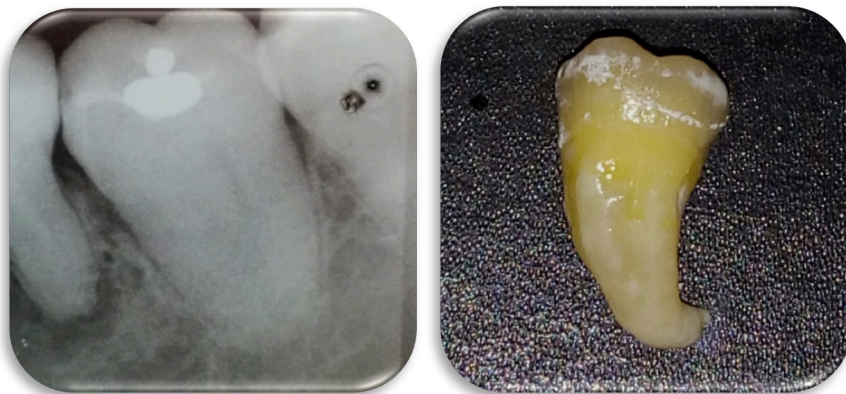


Fig.5 Sinostosis radicular en un segundo molar mandibular izquierdo

Curiosamente, en uno de los primeros tratados de anatomía e histología dental, publicado por Richard Owen en 1840 y titulado *“Odontography; or, A treatise on the comparative anatomy of the teeth; their physiological relations, mode of development, and microscopic structure, in the vertebrate animals”*, en el apartado dedicado a la dentición humana

menciona que no es inusual encontrar en europeos (caucásicos) que las raíces de los segundos y terceros molares inferiores estén unidos a lo largo de toda su extensión (Owen, 1840).

1.2.3.3. Alteraciones que ocurren durante el desarrollo dentario. cambios patológicos .

Las variaciones anatómicas ocurren por la interacción anormal de los tejidos durante los procesos de desarrollo dental explicados anteriormente. De acuerdo a la etapa en la cual ocurra la alteración se manifestarán diferentes defectos, como desarrollo anómalo, erupción ectópica o variaciones anatómicas (Oporto y cols., 2010). Las alteraciones de tipo patológico que pueden afectar a los molares mandibulares se resumen en las siguientes tablas (Tablas 3 y 4).

Tabla 3 Alts. patológicas de las raíces durante la histo- y la morfo-diferenciación (Alts. de forma y tamaño) (Gorlin y Boyle, 1966; Shafer y Levy, 2000)

<u>Alteración</u>	<u>Clínica</u>	<u>Localización</u>
Microdoncia	Dientes más pequeños de lo normal	Incisivos laterales maxilares y terceros molares
Macrodoncia	Dientes más grandes de lo normal	Todos los grupos dentales (raro)
Microrrizosis o Rizomicria	Raíces más corta que la corona dental	Incisivos centrales y terceros molares
Dilaceración	Angulación o curva aguda de la raíz dental	Todos los grupos dentales
Reducción del n° de raíces	Menos raíces de lo normal	Molares

Tabla 4 Alts. dentales producidas por trastornos en la fase de aposición dentinaria (Alts. estructurales de la dentina). (Gorli y Boyle, 1966; Shafer y Levy, 2000)

<u>Alteración</u>	<u>Clínica</u>	<u>Incidencia</u>
Displasia dentinaria o Rizomelia (dientes sin raíz)	Dentina atípica. Raíces cortas, engrosadas, cónicas y malformadas	Todos los grupos dentales
Odontodisplasia (dientes fantasma)	Mineralización defectuosa y capa de esmalte y dentina muy delgada. Raíces cortas y cámaras pulpares muy grandes. Disminución de la radiolucidez	Dientes anteriores maxilares
Dentinogénesis Imperfecta	Dentina amorfa, desorganizada y atubular. Tres tipos: I y II (cámaras pulpares y conductos radiculares obliterados), III (cámaras pulpares amplias y raíces cortas y delgadas).	Todos los grupos dentales

1.2.4. RECONOCIMIENTO DEL SISTEMA DE CONDUCTOS.

Para realizar un tratamiento de conductos exitoso, es necesario un conocimiento exhaustivo de la anatomía dental y de sus posibles variaciones. Hay muchos otros factores que contribuyen a la variabilidad de la morfología pulpar como el tejido duro que la rodea, así como la edad, sexo o raza de la población estudiada (Datta y cols., 2015).

El primer molar mandibular permanente, es el primero en hacer su aparición en la cavidad oral y suele ser el que más frecuentemente requiere tratamiento endodóntico, generalmente por caries (Reyhani y cols., 2007), mientras los segundos molares son más propensos a las fracturas verticales por ser, generalmente, los últimos dientes de la arcada y no tener un soporte distal (Carrotte, 2004). La mayor incidencia de fracturas en los segundos molares mandibulares también se puede explicar por su cercanía a la articulación temporo-mandibular (ATM), ya que según el principio de la palanca cuanto más próximo esté un objeto a la zona de fulcro, en este caso la ATM, mayor será fuerza mecánica que se ejerza sobre él. Por esto es de esperar que las fuerzas masticatorias actúen con mayor fuerza sobre los molares mandibulares y especialmente sobre los segundos molares provocando un trauma oclusal. También se ha sugerido que las cúspides palatinas prominentes de los molares maxilares pueden actuar como un émbolo sobre las fosa central de los mandibulares, que tiende a ser más profunda, y causar fatiga de la estructura dentinal y su consecuente fractura (Lynch y McConnell, 2002; Kang y cols., 2016).

En el artículo publicado por Zadik y cols. en 2008, se estudiaron 547 dientes extraídos, de los cuales los molares inferiores representaban el 56,1%. Similares resultados obtuvo Fernández y cols. en 2017.

En 1994, Wayman y cols. realizaron un estudio en el cual examinó 3.672 dientes con necesidad de tratamiento endodóntico. Del total de la muestra el 52,6% eran molares, de los cuales el primer molar mandibular fue el diente más tratado (18,8%) y el segundo molar mandibular el tercer diente más tratado (12.0%). Similares resultados

encontraron Zaatari y cols. (1997) después de estudiar 846 dientes tratados endodónticamente, de los cuales los primeros molares inferiores representaban el 17,4%. En 2011, Touré y cols. realizaron encuestas a 120 dentistas sobre los motivos de extracción de dientes tratados endodónticamente y el 23,5% de las extracciones se debió al fracaso o errores de procedimiento en el tratamiento.

Similares resultados obtuvo Yousuf en 2015, quien después de examinar 1.748 dientes endodonciados en busca de errores en el procedimiento, concluyó que el primer molar mandibular no solo era el diente más tratado (21,3%), sino que también era el diente con más tendencia a presentar errores de procedimiento; de hecho fue el único diente en el cual se encontraron más casos con errores que casos aceptables. Para Fuss y cols. (1999) el porcentaje de dientes extraídos por fracaso endodóntico llega hasta el 40,2%.

Los molares mandibulares juegan un papel fundamental en la oclusión y en el mantenimiento de la dimensión vertical. Además de ser esenciales para la masticación, brindan soporte dento-periodontal a la zona distal del arco dental y mantienen las mejillas y la lengua en su posición. Todo esto muestra la importancia de preservarlos en su posición para mantener la integridad del sistema masticatorio (Mărgărit y Andrei, 2011).

A través de la evolución de la Odontología y de sus especialidades se han utilizado diversos métodos de estudio anatómico como la sección de dientes, la tinción con colorantes, la transparentización, el análisis con tomografías computarizadas o microcomputarizadas. Todas estas

técnicas tienen el inconveniente de que deben hacerse en dientes extraídos e implican la destrucción de la muestra durante su realización. Para realizar estudios *in vivo* se utilizan las radiografías digitales antes o después de realizar el tratamiento de conductos o, más recientemente, la TCHC que hace posible el conocimiento preciso de la estructura y de la anatomía radicular en tres dimensiones para realizar un diagnóstico y un plan de tratamiento en mejores condiciones durante la terapia endodóntica (Helvacioğlu-Yigit y Sinanoğlu, 2013; Silva y cols., 2013).

Los tratamientos endodónticos se han convertido en rutinarios y una de las maneras más comunes de restaurar y preservar los dientes. Sin embargo, el procedimiento se puede complicar por anatomías radiculares complejas como raíces muy curvadas, conductos accesorios u obliterados o calcificaciones pulpares. Por estos motivos el diagnóstico por la imagen es fundamental en el tratamiento, lo que ha hecho que las radiografías sean una ayuda indispensable en su diagnóstico y planificación (Deepak y cols., 2012).

Las radiografías convencionales, producen una imagen bidimensional de una estructura tridimensional. Además, las estructuras anatómicas que circundan el diente se superponen y dificultan la interpretación de la imagen radiográfica. Las mejoras en los sistemas radiográficos digitales han traído beneficios como la producción instantánea de imágenes de alta calidad, herramientas de procesamiento y mejora de la imagen que evitan volver a irradiar al paciente, menores dosis de radiación y mayor facilidad para archivar y conservar las imágenes en el tiempo (Nair y Nair, 2007).

Tomografía es un termino utilizado para describir técnicas radiográficas seccionales. Una imagen tomográfica representa una “capa o rebanada” seleccionada de la estructura de las que se ha obtenido la imagen y se ha utilizado en el ámbito médico. En Odontología, Tachibana y Matsumato en 1990, fueron los primeros en sugerir el uso de las tomografías computarizadas para estudiar el sistema de conductos pero, por la baja calidad de la imagen no fue posible estudiar los conductos radiculares en detalle (Datta y cols., 2015).

Mientras que las tomografías computarizadas (TC) toman una gran cantidad de imágenes de cortes transversales de la parte del cuerpo deseada, que luego son reconstruidas mediante el uso de algoritmos matemáticos para obtener una imagen tridimensional, la TCHC necesita un solo volumen para obtener una imagen tridimensional precisa, sin superposiciones ni distorsiones y sometiendo al paciente a una cantidad de radiación menor (Weber y cols., 2015).

En 1997 se introdujo el uso de la TCHC en el ámbito dental. La adquisición de las imágenes se realiza mediante el uso de un arco rotatorio, al cual están anclados un generador de rayos X y un detector de rayos X. El generador de rayos X emite un haz de radiación ionizante en forma de abanico o cono, que atraviesa el área de interés del objeto estudiado (campo visual o *field of view* - *FOV* -), para llegar al detector de rayos X en el otro lado del arco; durante la exposición este arco gira sobre un fulcro fijo alrededor del paciente en una rotación, de al menos, 180°, durante esta rotación se adquieren múltiples (entre 150 y 600) imágenes planas secuenciales de la proyección del campo visual.

Debido a que la exposición involucra a todo el campo visual, sólo una secuencia rotacional es necesaria para adquirir suficientes datos para la reconstrucción de la imagen en tres planos ortogonales - axial, sagital y coronal - (Scarfe y cols., 2008).

Al igual que una imagen digital está compuesta por píxeles, las imágenes obtenidas con TCHC están formadas por millones de vóxeles que, en esencia, es un píxel en tres dimensiones. Al contrario que en la tomografía computarizada, donde los vóxeles son anisotrópicos, en las TCHC los vóxeles son isotrópicos. Esto quiere decir que tienen la misma altura, longitud y profundidad permitiendo hacer mediciones precisas geométricamente en cualquier plano. A pesar de esto la calidad de las imágenes de las TCHC se pueden ver afectadas por la presencia de materiales o tejidos de alta densidad (esmalte, materiales de obturación, etc.) que provocan distorsiones y artefactos; los movimientos del paciente durante la adquisición también pueden provocar artefactos y defectos en la imagen (AAE, 2011).

Con el auge en el uso de la TCHC en la práctica odontológica, cada día se identifican potenciales aplicaciones de esta tecnología en el campo de la Endodoncia, entre ellas se cuentan: el diagnóstico de la patología pulpar, el estudio de la morfología del conducto radicular, la identificación de patologías de origen no endodóntico, la evaluación de fracturas radiculares y traumatismos, el análisis de reabsorciones radiculares externas, internas y cervicales invasivas. En resumen la TCHC tiene un gran potencial para convertirse en una importante herramienta en el diagnóstico y planificación del tratamiento pulpar gracias a las imágenes tridimensionales y sin distorsiones, del esqueleto

maxilofacial, de los dientes y de los tejidos que los rodean, que proporciona (Cotton y cols., 2007; Deepak y cols., 2012).

1.2.5. CLASIFICACIÓN Y NOMENCLATURA DEL SISTEMA DE CONDUCTOS.

Con el avance en la investigación morfológica radicular y la introducción de nuevas técnicas de estudio y de diagnóstico por la imagen tridimensionales y de alta calidad, se ha hecho evidente que la anatomía del sistema radicular es mucho más compleja e intrincada de lo que se pensaba. De hecho, en los estudios, se puede encontrar hasta un 13% de los conductos que no pueden ser clasificados siguiendo los métodos descritos por autores como Vertucci o Weine (Filpo-Perez y cols., 2015).

Por este motivo, Ahmed y cols. en 2016, se propusieron desarrollar una nueva forma de clasificación de las raíces dentales y su anatomía que fuera sencilla, precisa y útil tanto en el campo de la investigación, la docencia o la práctica clínica.

Esta clasificación se basa en un sistema de códigos para codificar el número del diente, el número de raíces y la configuración del sistema de conductos. Con estos códigos se escribirá una “fórmula” que contenga las características del diente (Ahmed y cols., 2016) de la manera descrita a continuación:

- Número del diente (*TN*): se puede escribir utilizando cualquier sistema de numeración en uso. Utilizando el sistema de la

Federación Dental Internacional (FDI), un primer molar mandibular izquierdo seguirá siendo el 3.6. En caso de no poder determinar el número de diente, como en los dientes extraídos, se utilizará una breve descripción (ej. Incisivo central superior - ICS -).

- Número de raíces y su configuración: el número de raíces (R) se añade como un superíndice antes del número del diente ($^R TN$). Así un primer molar mandibular izquierdo de dos raíces será $^2 3.6$. Cualquier división de la raíz, en cualquiera de sus tercios, será considerado como una raíz más.
- Configuración del conducto radicular: el tipo de configuración se identificará con un superíndice después del número del diente (en dientes unirradiculares), que describirá el recorrido del conducto desde el orificio (O), a través del conducto (C) y hasta el foramen (F). Así un incisivo lateral superior izquierdo se describirá $^{12.2^1}$; al ser un conducto único desde el orificio hasta el foramen, se abrevia poniendo solo un 1. En dientes multirradiculares, después del TN , se colocará una R por cada una de las raíces (B, L, P , etc.) y sobre ellas se colocarán los superíndices descriptores del tipo de conducto de cada raíz. Así el segundo molar descrito anteriormente será $^2 3.6 M^{2-2-1} D^1$.

Este sistema no tiene en cuenta el grado de curvatura de las raíces y sus conductos, el grado de separación de las raíces, el punto exacto de bifurcación o fusión, conductos accesorios o deltas apicales. Tampoco se incluyen anomalías del desarrollo, ya que los autores consideran que

existen, en la literatura, sistemas de clasificación lo suficientemente exhaustivos para su descripción (Ahmed y cols., 2016).

Por este motivo, en 2017, Ahmed y cols. amplían el sistema e incluyen descriptores para nombrar y clasificar los deltas y conductos accesorios que se pueden encontrar a lo largo de las raíces.

También en 2017, Ahmed y Dummer, publican una clasificación complementaria en la que se tienen en cuenta las posibles alteraciones del desarrollo. En este anexo no reclasifican las anomalías, sino que se basan en clasificaciones ya descritas en la literatura para cada una de ellas ya que, como explican, no pretenden reclasificarlas sino desarrollar una codificación que describa concienzudamente las características de las raíces y su sistema de conductos.

A continuación se enumeran las anomalías que se tienen en consideración y las clasificaciones aplicadas por Ahmed y Dummer para catalogarlas:

- Conductos en C (Fan y cols., 2007).
- *Dens invaginatus* (Oehlers, 1957).
- Surco palato-gingival (Gu, 2011).
- *Radix entomolaris* (Song y cols., 2010).
- Taurodontismo (Seow y Lai, 1989).
- Fusión radicular (Zhang y cols., 2014).

Por su parte Albuquerque y cols. en 2012, hacen referencia a las numerosas variaciones anatómicas en las raíces y sistemas de conductos, reportadas en la literatura, de los molares mandibulares. Así como la diversidad de términos utilizados para nombrar cada una de estas variaciones morfológicas, lo que ocasiona una falta de claridad y exactitud a la hora de describirlas. Como consideran que no hay una nomenclatura que relacione directamente las raíces y la anatomía de los conductos radiculares, han desarrollado una nomenclatura, para los molares mandibulares, que toma en cuenta la relación entre las raíces y los conductos radiculares basándose en la anatomía.

En los molares mandibulares de dos raíces y tres o cuatro conductos, se mantendrá la nomenclatura clásica de raíz mesial y distal y conductos mesio-bucal, mesio-lingual, distal o disto-bucal y disto-lingual según sea el caso.

Cuando aparece un tercer conducto, entre los dos conductos principales de una de las raíces, se agregará el prefijo “medio” para describir su posición anatómica entre los otros dos conductos; así el conducto podrá ser medio-mesial o medio-distal.

Si apareciera un cuarto conducto en la misma raíz, los conductos se denominarán según su posición vestibulo-lingual con respecto al conducto principal más cercano (fig. 6).

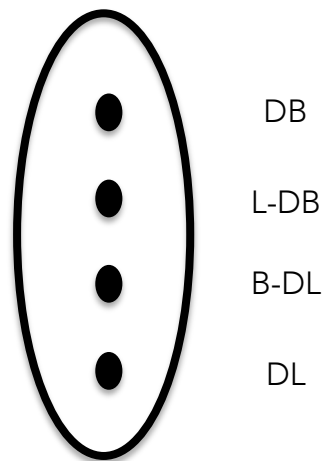


Fig. 6 Ejemplo de una raíz distal con cuatro conductos. Disto-bucal (DB), Linguo Disto-bucal (L-DB), Buco Disto-lingual (B-DL), Disto-lingual (DL).

En el caso de existir raíces adicionales, a las dos principales, y de un único conducto, se nombrarán según su posición anatómica seguido del sufijo “R”. En el caso de existir más de un conducto por raíz adicional, se nombrará según su posición en el plano buco-lingual seguido del sufijo “r” (fig. 7).

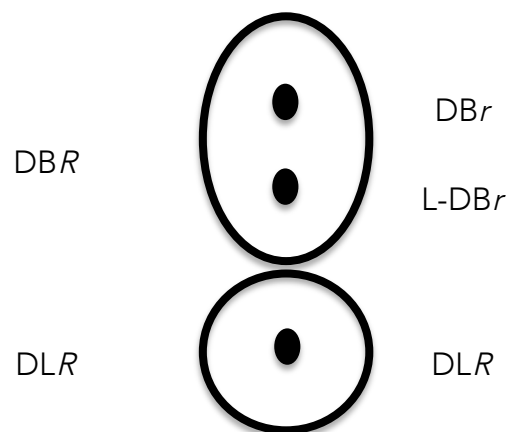


Fig. 7 Ejemplo de una raíz distal con dos raíces (Disto-bucal -DBR- y Disto-lingual -DLR-) y tres conductos (Disto-bucal -DBr-, Linguo Disto-bucal -L-DBr-, Disto-lingual -DLR-).

La fórmula general que se propone en esta nomenclatura para los molares mandibulares es XR, donde la X representa la ubicación anatómica del conducto y la R marca la presencia de una raíz adicional. De esta manera los autores no hacen mención a términos individuales como *radix entomolaris* o *paramolaris*, ya que consideran que las variaciones anatómicas deben describirse según su localización anatómica, en este caso raíz disto-lingual o mesio-bucal, porque se han reportado alteraciones en el número de raíces que no pueden clasificados bajo los criterios tradicionales. En el caso de que el molar presente una sola raíz con un conducto central único este se denominará conducto central (Cn), lo que describe su localización central dentro de la raíz.

Para los conductos en C deberá agregarse el prefijo “C” al nombre del conducto, el cual describirá el recorrido del conducto dentro de la cámara pulpar. Así si el conducto en C va de la zona mesio-lingual a disto-vestibular y hay un conducto mesio-vestibular independiente, deberá nombrarse: C-ML-DB, MB. En caso de que sea un conducto único, después del prefijo “C” deberá añadirse “Cn” seguido del recorrido del conducto; por ejemplo: C-Cn-MB-ML (fig. 8).

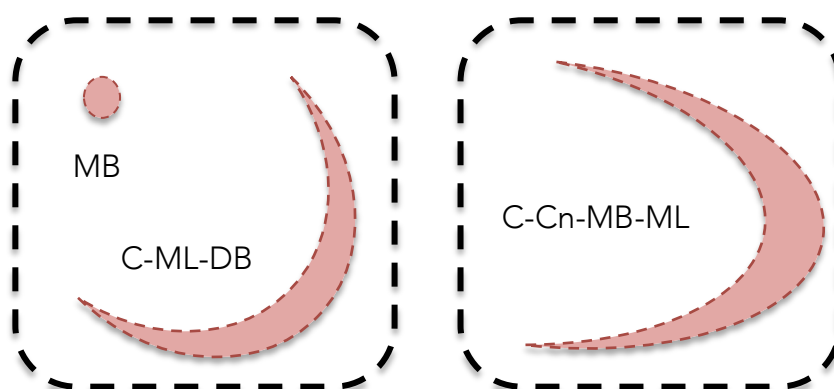


Fig. 8 Ejemplo de conductos en C de conducto único (C-Cn-MB-ML) y de dos conductos (C-ML-DB, MB)

1.3. Justificación.

Es lógico pensar que el aumento mundial del consumo de alimentos refinados y dietas ricas en carbohidratos o el fácil acceso a bebidas azucaradas y golosinas, puede incrementar el número de personas edéntulas por el aumento en los índices de caries. Pero, por el contrario, cada vez es mayor el número de dientes que se conservan en la boca. Esto se debe a las mejoras en la calidad de vida que traen consigo mejor higiene oral, uso de flúor, mejores materiales y técnicas restauradoras, profesionales dentales mejor preparados y la aceptación de que el mantenimiento de dientes naturales con un buen pronóstico es mucho mejor opción que la extracción y la reposición protética (Cascaes y cols., 2014)

La Endodoncia y la Odontología conservadora actual están orientadas a restaurar la forma y la función de los dientes y a mantener su salud periodontal, lo que es clave para la supervivencia del diente. Los avances en tratamientos y materiales endodónticos han resultado en la conservación de muchos dientes que en otros tiempos habrían sido desahuciados y extraídos. Aunque las tasas de éxito del tratamiento endodóntico han subido en los últimos años, varios estudios reportan el fracaso y posterior extracción de dientes previamente sometidos a este tipo de tratamiento; siendo los molares mandibulares los dientes más propensos a necesitar tratamiento endodóntico y los que con mayor frecuencia es necesario extraer por errores de procedimiento que hacen que el tratamiento evolucione de manera desfavorable (Wayman y cols., 1994; Touré y cols., 2011; Lababidi, 2013).

La pulpa dental está rodeada por tejido duro que puede adoptar gran variedad de formas y configuraciones durante su etapa de desarrollo y como consecuencia de procesos de remodelación y reparación a lo largo de la vida de los dientes. Hay una relación directa entre el éxito de la Endodoncia y la complejidad en la anatomía del sistema de conductos radiculares, ya que este se basa en el profundo conocimiento de esta intrincada anatomía y sus posibles variaciones morfológicas para poder lograr una limpieza y desinfección óptimas de sistema de conductos. La obturación incompleta de los conductos o dejar un conducto sin tratar son unas de las causas más comunes de fracaso y se deben a que el clínico es incapaz de localizarlos o de reconocer la anatomía y complejidad del sistema de conductos durante el tratamiento (Vertucci, 1984; Hoen y Pink, 2002; Gani y cols., 2014)

Mientras los dientes con raíces y conductos de morfología sencilla pueden ser instrumentados y lavados eficientemente durante el tratamiento ortógrado, en aquellos con alteraciones anatómicas, sobre todo en el tercio apical, estas maniobras se dificultan y puede ser necesario el tratamiento endodóntico por vía quirúrgica para resolver lesiones periapicales. En este último caso, también es de fundamental importancia un conocimiento concienzudo de la complejidad y de las posibles alteraciones, tanto internas como externas, de las raíces y sus conductos (Ricucci y Siqueira, 2008).

Es así como se hace fundamental conocer y manejar las nuevas técnicas de diagnóstico por la imagen como la TCHC, que elimina las limitaciones de la radiografía convencional y permite conocer mucho mejor las relaciones anatómicas internas de los dientes y realizar una evaluación

cuidadosa de su morfología antes de realizar el tratamiento de conductos, porque a pesar de que las radiografías muestran la anatomía y morfología general de los dientes, no muestran la anatomía interna real, debido a que son una representación bidimensional de un espécimen tridimensional (Saberí y cols., 2013).

1.4. Objetivos.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL: describir el sistema de conductos de los molares mandibulares a través de las imágenes proporcionadas por un tomógrafo computarizado de haz cónico e identificar las variaciones morfológicas del mismo y su prevalencia.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- * Identificar el número de raíces y detectar la presencia de raíces adicionales.
- * Definir la morfología del sistema de conductos (número de conductos y distribución).
- * Determinar si existen diferencias anatómicas y morfológicas entre los molares de la hemiarcada derecha e izquierda y entre primeros y segundos molares.
- * Describir las variaciones sobre el patrón más prevalente.
- * Establecer la prevalencia de aparición de cada una de las variaciones anatómicas encontradas en las imágenes tomográficas.

METODOLOGÍA

2

Antes de comenzar con este trabajo de investigación se solicitó la aprobación del comité de ética de la Universitat de València. El mismo fue concedido con el número de procedimiento H1432490772413.

2.1. Búsqueda Bibliográfica.

Se realizó la búsqueda bibliográfica en las bases de datos Medline, Scopus y Scielo. Para ello se utilizó tanto una combinación de palabras claves, como vocabulario controlado.

Se restringió el lenguaje a artículos en español e inglés. Además, se realizó una búsqueda en racimo, dentro de la bibliografía de los artículos seleccionados, en busca de títulos adicionales adecuados para esta revisión.

La revisión se dividió en tres bloques, para responder a las siguientes cuestiones:

- Características anatómicas del grupo molar inferior, sus posibles alteraciones o anomalías y su causa. Los descriptores utilizados fueron: *root canal, anatomy, anatomic alteration, dental root, first lower molar, second lower molar, morphology, morphodifferentiation, embryology, dental pulp, extra root, extra canal, aberrant anatomy, C-shaped canal.*

- Métodos y técnicas utilizados para el estudio de la anatomía dental, tanto *in vivo* como *in vitro*. Los descriptores utilizados fueron: *root canal, anatomy, morphology, endodontics, anatomical studies, CBCT, TC scans, diafanization, X rays, radiography*.
- Implicaciones en la terapia endodóntica y manejo clínico de las anomalías y alteraciones anatómicas. Los descriptores utilizados fueron: *root canal therapy, endodontics, clinical cases, extra root, extra canal, C-shaped canal, anatomical alteration, first lower molar, second lower molar, CBCT, X rays, radiography*.

También se incluyeron en la revisión libros de referencia en Embriología, Histología, Anatomía dental, Endodoncia y Radiología; así como tesis doctorales y tratados monográficos de interés para este estudio.

La última revisión bibliográfica, en los diferentes motores de búsqueda, se realizó el 29 de junio de 2018.

2.2. Recogida de Datos Radiográficos.

Para la fase experimental de la investigación se realizó un muestreo consecutivo de la base de datos de la clínica odontológica del Dr. Emanuele Ambu en la población de Bolonia, Italia; un total de 1134 estudios tomográficos, y se hizo el análisis de las imágenes. Todos los estudios fueron realizados como parte del diagnóstico y planificación del tratamiento de los pacientes, que requerían imágenes de TCHC por motivos quirúrgicos, prostéticos o traumatológicos.

2.3. Estudios de TCHC.

Las tomografías se realizaron, sin utilizar ningún medio de contraste, con una unidad Kodak 9000 3D (Carestream/Trophy, Marne-la-Vallée, Francia). Los parámetros técnicos utilizados para realizar la adquisición de las imágenes fueron los siguientes: parámetros de exposición, 70 kVp y 10 mA; tiempo de exposición de 18 segundos; tamaño de voxel de 76 μ m. Se siguió el protocolo *ALARA* (conseguir una irradiación tan baja como razonablemente sea posible).

2.4. Disociación de Datos.

Al investigador se le suministraron las imágenes disociadas de los datos de filiación de los pacientes, en un listado donde estaban numeradas del número 1 al 1.134.

2.5. Visualización de Imágenes Radiográficas.

Los estudios tomográficos fueron analizados mediante el *software* Osirix v.3.7.1 64 bit (Pixmeo, Ginebra, Suiza), en un ordenador portátil MacBook Air (Apple Inc., California, EE.UU) con una pantalla LCD de 13 pulgadas y resolución de 1440x900 píxeles.

El análisis de las TCHC se realizó visionando la reconstrucción de las imágenes en el eje axial de los dientes. Primero, se estudiaron en sentido corono-apical y, después, en sentido apico-coronal para obtener

una visión detallada del sistema de conductos de cada uno de los dientes estudiados. Este procedimiento se repitió tres veces por cada diente, y cuando el estudio en el eje axial no era óptimo y dejaba dudas para el diagnóstico, se recurrió a las reconstrucciones en los ejes sagital y coronal como apoyo.

Las características examinadas fueron el número de raíces, el número de conductos radiculares y la morfología del sistema de conductos. Todos los datos obtenidos fueron catalogados y divididos según el tipo de diente estudiado (Plotino, 2013).

2.6. Criterios de Inclusión.

Los molares incluidos en el estudio debían reunir los siguientes criterios de inclusión:

- Primeros y segundos molares inferiores permanentes sanos, sin tratamientos de conductos previos, restauraciones protéticas o grandes restauraciones que pudieran distorsionar las imágenes.
- Ausencia de lesiones periapicales.
- Raíces completamente desarrolladas y con ápices cerrados.

2.7. Exploración y Registro de Datos.

Se siguió la metodología utilizada por Zhang y cols. en su artículo de 2011 para registrar los rasgos anatómicos y las alteraciones

encontradas en la muestra; en esta clasificación se describen 7 variaciones anatómicas para los primeros molares mandibulares y 10 variaciones para los segundos molares. La clasificación de Vertucci (1984) fue utilizada para clasificar la configuración del sistema de conductos de las raíces mesiales de los primeros molares. Para categorizar la morfología de los conductos en C, se utilizó la clasificación descrita por Melton en 1991.

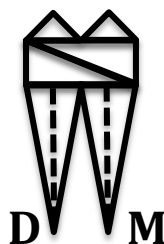
Se recopilaron los siguientes datos:

- Número de raíces
- Número de conductos por raíz
- Alteraciones y variantes de los sistemas de conductos

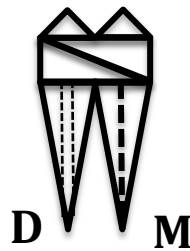
A continuación esquematizamos las clasificaciones descritas anteriormente.

- Principales variantes morfológicas en el sistema de conductos (Zhang y cols., 2011):

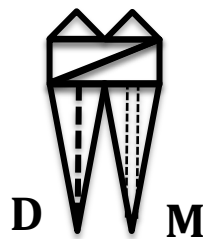
- ✓ **variante 1:** 2 raíces separadas, una mesial y otra distal, con un conducto en cada raíz.



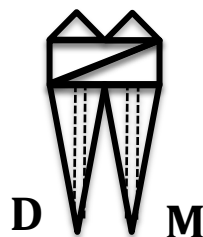
- ✓ **variante 2:** 2 raíces separadas, 1 conducto en la raíz mesial y 2 conductos en la raíz distal.



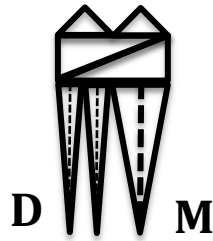
- ✓ **variante 3:** 2 raíces separadas, 2 conductos en la raíz mesial y 1 conducto en la raíz distal.



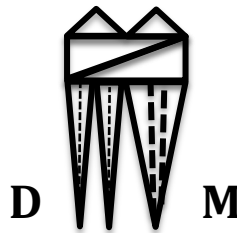
- ✓ **variante 4:** 2 raíces separadas, 2 conductos en la raíz mesial y 2 en la raíz distal



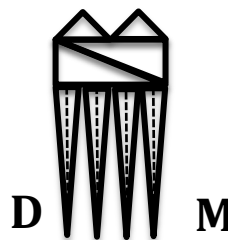
- ✓ **variante 5:** 3 raíces separadas, raíz mesial, distovestibular y distolingual, con un conducto en cada una de ellas.



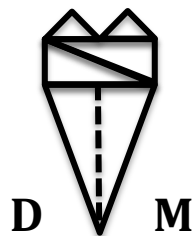
- ✓ **variante 6:** 3 raíces separadas, 2 conductos en la raíz mesial y 1 conducto en cada una de las raíces distales.



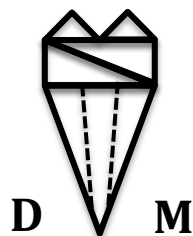
- ✓ **variante 7:** 4 raíces separadas, raíz mesiovestibular, mesiolingual, distovestibular y distolingual, con un conducto en cada una de las raíces.



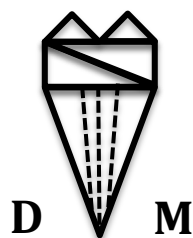
✓ **variante 8:** 1 raíz con 1 conducto



✓ **variante 9:** 1 raíz con 2 conductos.



✓ **variante 10:** 1 raíz con 3 conductos.



- Configuración del sistema de conductos en el interior de las raíces mesiales de los primeros molares (Vertucci, 1984):

- ✓ **tipo I:** un único conducto que va de la cámara pulpar hasta el ápice.



- ✓ **tipo II:** dos conductos separados salen de la cámara pulpar, para unirse cerca del ápice y formar uno.



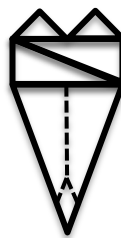
- ✓ **tipo III:** un conducto que sale de la cámara pulpar, se divide en dos a lo largo de la raíz y se vuelve a unir para terminar como uno.



- ✓ **tipo IV:** dos conductos separados que van desde la cámara pulpar hasta el ápice.



- ✓ **tipo V:** un conducto que sale de la cámara pulpar y se divide cerca del ápice para terminar como dos conductos separados.



- ✓ **tipo VI:** dos conductos separados salen de la cámara pulpar, se unen a lo largo de la raíz y se separan cerca del ápice para terminar como dos conductos separados.



- ✓ **tipo VII:** un conducto sale de la cámara pulpar, se divide y se vuelve a unir a lo largo de la raíz para finalmente separarse y terminar en dos conductos separados.

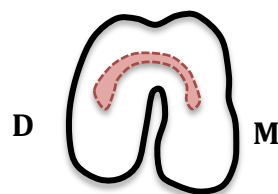


- ✓ **tipo VIII:** tres conductos separados van desde la cámara pulpar hasta el ápice.

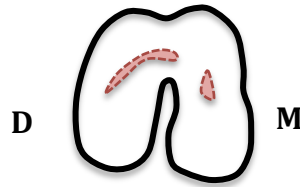


- Conductos en C y sus variantes (Melton, 1991):

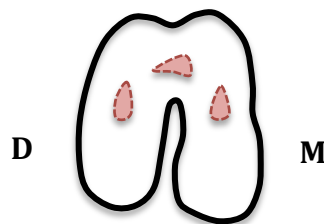
- ✓ **categoría I:** un conducto continuo en forma de C que va desde la cámara pulpar hasta el ápice sin ninguna separación.



- ✓ **categoría II:** un orificio en forma de coma, donde se distingue un conducto en C principal y un conducto mesial separado por dentina.



- ✓ **categoría III:** se refiere a aquellos en los que existen dos o más conductos discretamente separados: **subdivisión 1:** orificio en forma de C en el tercio coronal que se divide en dos o más conductos y se unen en el ápice; **subdivisión 2:** orificio en forma de C en el tercio coronal que se divide en dos o mas conductos en el tercio medio hasta el ápice; **subdivisión 3:** orificio en forma de C que se divide en dos o más conductos en el tercio coronal hasta el ápice.



Los datos fueron recogidos en hojas de cálculo Excel (Microsoft Excel for Mac 2011, versión 14.0.0. Redmond, Washington. E.E.U.U.) para su posterior análisis estadístico.

2.8. Análisis Estadístico de los Datos.

Para el análisis estadístico de los datos se aplicaron estadísticas descriptivas utilizando el programa SPSS 21.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois. EE.UU.).

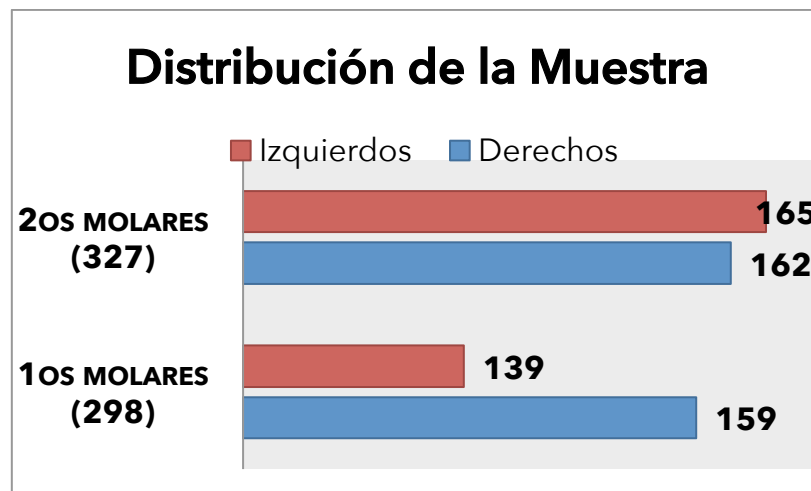
Se utilizó el test de la ji al cuadrado (χ^2) para hacer la comparación entre variables de la muestra, ya que todas nuestras variables (el tipo de diente y las diferentes configuraciones del sistema de conductos) eran variables cualitativas, con un intervalo de confianza del 95% ($p \leq 0.05$) para todos los grupos comparados.

Pasado un mes del análisis de toda la muestra, se escogieron al azar 70 especímenes (13,4%) que volvieron a ser analizados por el mismo observador y bajo las mismas condiciones. A los resultados obtenidos se les aplicó el test Kappa de Cohen para verificar la concordancia intraobservador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3

Para este estudio se analizaron un total de 1.134 TCHC, de las cuales 396 eran válidas por ser de sectores postero-inferiores. Un total de 625 molares cumplieron con los criterios de inclusión (fig. 9); 298 primeros molares mandibulares (47,70%) y 327 segundos molares mandibulares (52,3%).



Gráf. 1. Distribución de la muestra según tipo de diente.

De los 298 primeros molares, 139 (48,52%) eran primeros molares izquierdos (3.6) y 159 (53,35%) eran primeros molares derechos (4.6). En el grupo de los 327 segundos molares, 165 (50,45%) eran segundos molares izquierdos (3.7) y 162 (49,54%) eran segundos molares derechos (4.7) -gráfico 1-.

El hecho de que la muestra esté compuesta por un mayor número de segundos molares, concuerda con los resultados obtenidos en estudios previos donde afirman que los primeros molares mandibulares son los dientes más tratados endodónticamente (Yousuf y cols., 2015) y más extraídos (Zadik y cols., 2008; Fernández y cols., 2017).

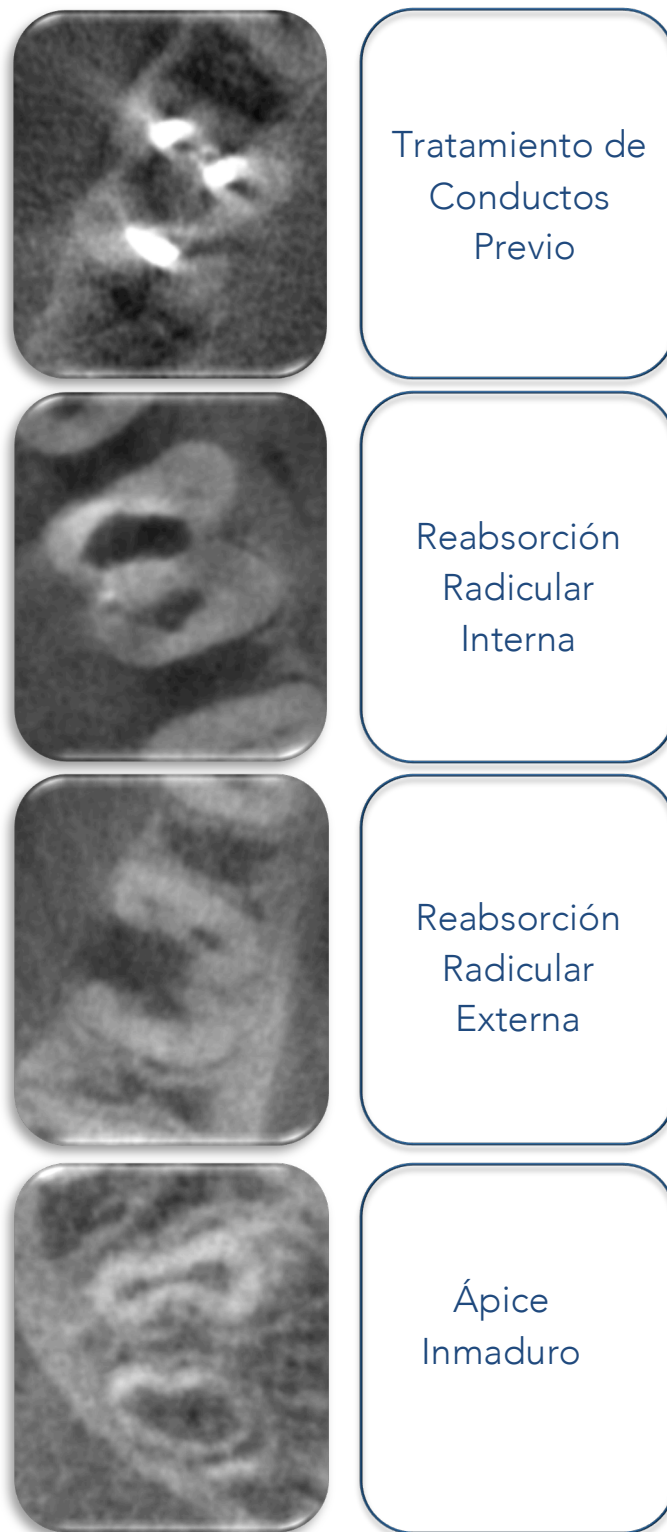


Fig. 9 Ejemplos de dientes descartados por no cumplir con los criterios de inclusión

Mediante el test de la ji al cuadrado (χ^2) se estableció una relación estadísticamente significativa entre el tipo de diente (primeros o segundos molares) y las diferentes clasificaciones del sistema de conductos estudiados: morfología del sistema de conductos según Zhang ($\chi^2 = 134,63 - p=0,000$), tipos de conductos de las raíces mesiales según Vertucci (1984) ($\chi^2 = 129,975 - p=0,000$) y configuración de conductos en C ($\chi^2 = 52,581 - p=0,000$).

	Diferencias en incidencia entre 1 ^{os} y 2 ^{os} molares		Diferencias en incidencia entre 1 ^{os} molares der. e izq.		Diferencias en incidencia entre 2 ^{os} molares der. e izq.	
	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>	χ^2	<i>p</i>
Zhang	123,822	0,000*	3,999	0,677	3,851	0,870
Vertucci	120,289	0,000*	4,527	0,717	5,196	0,736
Cond. C	46,816	0,000*	0,877	0,349	3,018	0,697
R. <i>entomolaris</i>	1,143	0,285	1,769	0,183	0,000	0,985
R. <i>paramolaris</i>	3,669	0,055	-----	-----	0,976	0,323
C. mesio- central	9,919	0,002*	0,004	0,948	0,222	0,637
Siniostosis	4,593	0,032*	-----	-----	1,773	0,183

$p \leq 0,05$

* estadísticamente significativo

Tabla 5 Resultados del χ^2 para la correlación de variables entre primeros y segundos molares y hemiarcada derecha e izquierda

Con la prueba χ^2 también se determinó que no habían diferencias estadísticamente significativas en la configuración del sistema de conductos y aparición de alteraciones del patrón anatómico entre la hemiarcada derecha e izquierda, pero si se observaron entre primeros y segundos molares (tabla 5).

Con el test Kappa de Cohen, se obtuvieron niveles muy altos de concordancia intraobservador para todas las variables de la configuración del sistema de conductos estudiadas, así como para la aparición de alteraciones en el patrón morfológico (tabla 6).

	<u>Medida de acuerdo Kappa</u>	<u>Error estándar asintótico</u>
Zhang	0,97	0,02
Vertucci	0,94	0,03
Conducto en C	0,93	0,06
<i>Radix entomolaris</i>	1,00	0,00
<i>Radix paramolaris</i>	1,00	0,00
Cond. mesio-central	1,00	0,00
Sinostosis	1,00	0,00

Tabla 6 Resultados de la concordancia intraobservador obtenidos con el test Kappa de Cohen

Comúnmente, los molares mandibulares presentan dos raíces bien definidas. La raíz mesial es aplanada en sentido mesio-distal y tiene un mayor diámetro vestibulo-lingual, se curva hacia el interior del diente y posee dos conductos radiculares terminados en forámenes apicales diferentes que en ocasiones pueden converger en un solo foramen. La raíz distal es, generalmente, recta y con un único conducto radicular de forma arriñonada (Silva y cols., 2013; Madani y cols., 2017).

De los 298 primeros molares inferiores, la presencia de 2 raíces fue lo más frecuente, seguido de 3 raíces y los conductos en C (90,26%, 2,34% y 0,33%, respectivamente), lo contrario a lo observado en los 327 segundos molares, donde lo más frecuente fue 2 raíces (78,89%), conductos en C (15,29%) y 3 raíces (2,44%).

La clasificación de Zhang y cols. (2011), se basa en la de Vertucci (1984), e incluye modificaciones, adaptándola a las tecnologías actuales de imagen tridimensional (Silva y cols., 2013). Según esta clasificación, la configuración más frecuente fue la de dos raíces (mesial y distal) y tres conductos (2 mesiales y 1 distal) -fig. 11-: con un 68,79% (205 dientes) para los primeros molares y un 70,94% (232 dientes) para los segundos. Esto representa un 69,92% (437 dientes) del total de la muestra. El resto de configuraciones se muestran en la tabla 4.

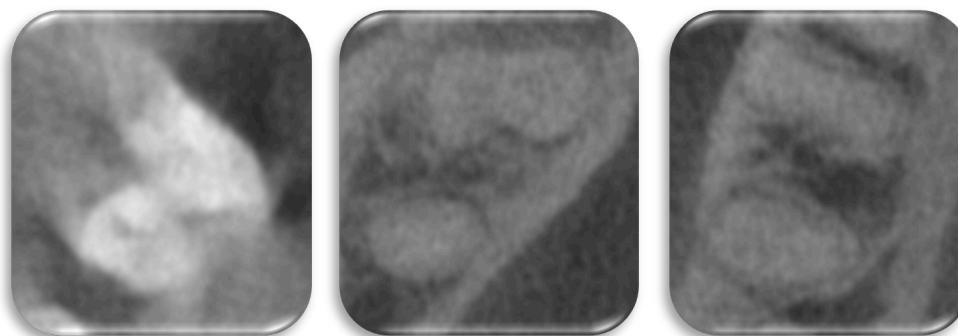


Fig. 10 Especímenes no clasificables por defectos en la calidad de la imagen

El 4,8% (30 dientes) de la muestra no pudo ser clasificado según este método, ya que sus características no se ajustaban a sus parámetros. Así, en 24 dientes se encontró un tercer conducto en la raíz mesial (mesio-central), en 3 dientes se observó la presencia de una tercera raíz en la zona mesio-vestibular (*Radix Paramolaris*), en 2 dientes se observó la presencia de una raíz mesio-lingual y 1 diente tenía 4 raíces.

No fueron analizados 3 dientes (0,5%) por defectos o poca claridad de la imagen (fig. 10). En total un 5,3% de la muestra no pudo ser analizada.

	<u>36</u>	<u>37</u>	<u>46</u>	<u>47</u>
V1	1 (0,7%)	10 (6,1%)	2 (1,3%)	13 (8,0%)
V2	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (0,6%)	0 (0,0%)
V3	97 (69,8%)	114 (69,1%)	108 (67,9%)	118 (72,8%)
V4	26 (18,7%)	2 (1,2%)	34 (21,4%)	1 (0,6%)
V5	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
V6	5 (3,6%)	2 (1,2%)	2 (1,3%)	1 (0,6%)
V7	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (0,6%)
V8	0 (0,0%)	11 (6,7%)	0 (0,0%)	7 (4,3%)
V9	0 (0,0%)	9 (5,5%)	0 (0,0%)	9 (5,6%)
V10	0 (0,0%)	10 (6,1)	1 (0,6%)	7 (4,3%)

Tabla 7 Distribución dentro de la muestra del tipo de patrón morfológico radicular y del sistema de conductos según la clasificación de Zhang y cols., 2001

Los resultados obtenidos concuerdan con los datos encontrados por otros estudios realizados sobre poblaciones caucásicas (Skidmore y Bjorndahl, 1971; Curzon, 1973; Gu y cols., 2010; Silva y cols., 2013; Torres y cols., 2015; Martins y cols., 2017; Pérez-Heredia y cols., 2017) y las conclusiones alcanzadas por de Pablo y cols. (2010) y Tomaszewska y cols. (2018) en sendas revisiones bibliográficas. De estos últimos autores también se concluye que en poblaciones asiáticas el porcentaje de molares mandibulares con 2 raíces disminuye a expensas del aumento de los casos de molares con 3 raíces y conductos en C; esto mismo también se observa en estudios sobre poblaciones asiáticas como los de Huang y cols. en 2010 y Zhang y cols. en 2011.

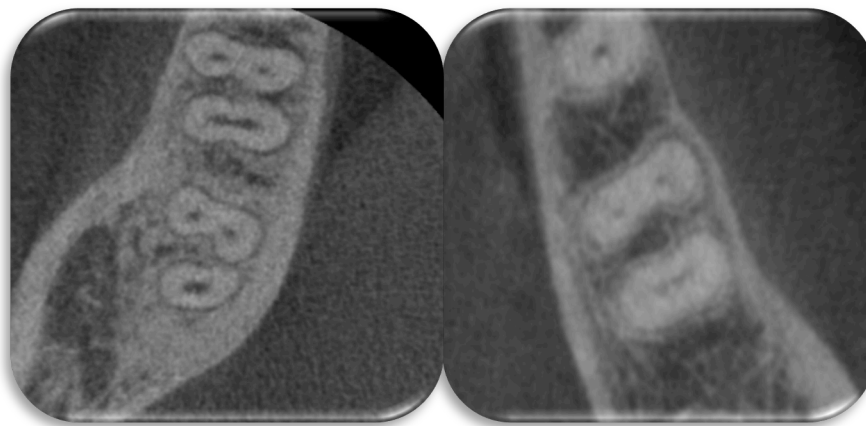


Fig. 11 Configuración radicular más prevalente en molares mandibulares. Dos raíces (mesial y distal) y tres conductos (2 mesiales y 1 distal)

Para la configuración interna del sistema de conductos de la raíz mesial de los primeros molares se observó que los tipos IV y II de Vertucci fueron los más frecuentes (56,04% y 32,21% respectivamente) -fig. 12-.

También se identificó el tipo I en el 1,01% de los casos, el tipo III en el 0,67% de los casos, el tipo V en el 0,33% de los casos, el tipo VI en el 1,67% de los casos y el tipo VIII en el 7,04% de los casos (tabla 7). En el 1,00% de las raíces mesiales de los primeros molares no fue posible determinar el tipo de conductos, debido a la calidad de la imagen. Estos resultados son similares a los encontrados en las revisiones bibliográficas realizadas por de Pablo y cols. (2010) y Tomaszewska y cols. (2018). En contraposición a este estudio, Torres y cols. en 2015 determinaron que los tipos de Vertucci más frecuentes en las raíces mesiales de los primeros y segundos molares mandibulares, al comparar una población belga y chilena, eran el V y el III para ambos grupos; en 2017 Pérez-Heredia y cols. publica que el tipo de configuración más frecuente, para una población española, es el II (51,3%) seguido del IV (37,8%); aunque reporta una incidencia del tipo VIII del 7,04%, similar al de nuestro estudio.

En la raíz mesial de los segundos molares nos encontramos con la situación opuesta, la configuración más prevalente (según la clasificación de Vertucci -1984-) es la tipo II seguida de la tipo IV (35,47% y 28,44% respectivamente). La frecuencia de los tipos I (8,25%) y tipo III (6,42%) aumentan en comparación con lo observado en la raíz mesial (fig. 13) y el tipo VIII (1,52%) disminuye (tabla 8). Aunque estos resultados concuerdan con los reportados por Vertucci, 1984; Pérez-Heredia y cols., 2017 y Martins y cols., 2018; difieren por los presentados por de Pablo y cols., 2010, Plotino y cols., 2013, Madani y cols., 2017, Pawar y cols., 2017 y Tomaszewska y cols., 2018 para quienes el tipo más prevalente es el tipo IV seguido del tipo II o; los de Torres y cols., 2015 que encuentran que el tipo III es el más prevalente, seguido del tipo V.

	<u>36</u>	<u>37</u>	<u>46</u>	<u>47</u>
T I	1 (0,7%)	12 (7,3%)	2 (1,3%)	15 (9,3%)
T II	42 (30,2%)	62 (37,5%)	54 (34,0%)	54 (33,3%)
T III	2 (1,4%)	8 (4,8%)	0 (0,0%)	13 (8,0%)
T IV	82 (59,0%)	43 (26,1%)	85 (53,5%)	50 (30,9%)
T V	0 (0,0%)	3 (1,8%)	1 (0,6%)	1 (0,6%)
T VI	2 (1,4%)	1 (0,6%)	3 (1,9%)	1 (0,6%)
T VII	0 (0,0%)	1 (0,6%)	0 (0,0%)	1 (0,6%)
T VIII	9 (6,5%)	2 (1,2%)	12 (7,5%)	3 (1,9%)

Tabla 8 Distribución dentro de la muestra de la clasificación de la anatomía interna de la raíz mesial según Vertucci (1984)

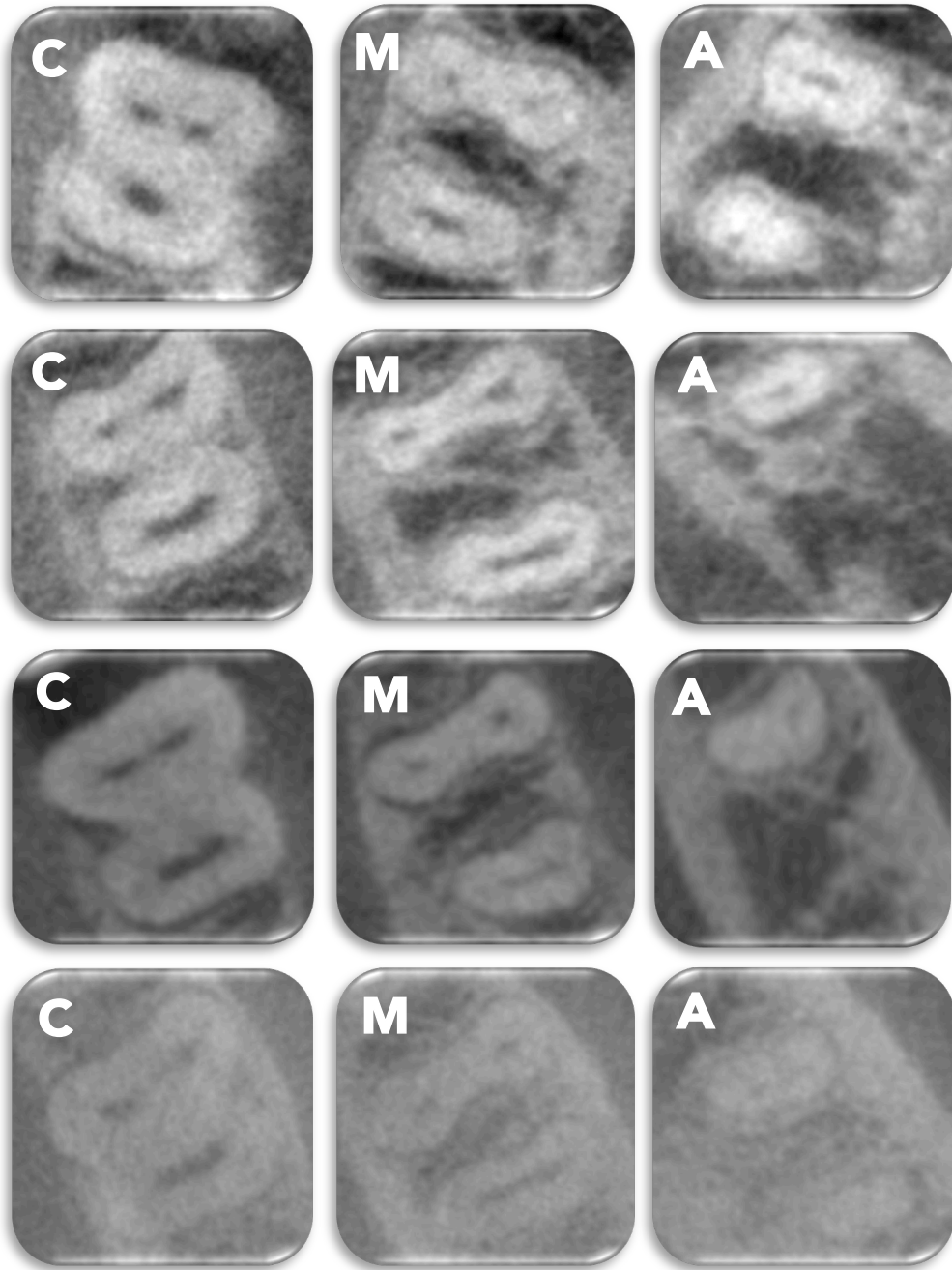


Fig. 12 Ejemplos de raíces mesiales con configuración de Vertucci (1984) tipo II (1ª y 2ª línea) y tipo IV (3ª y 4ª línea) vistos a través de los tercios coronal (C), medio (M) y apical (A)

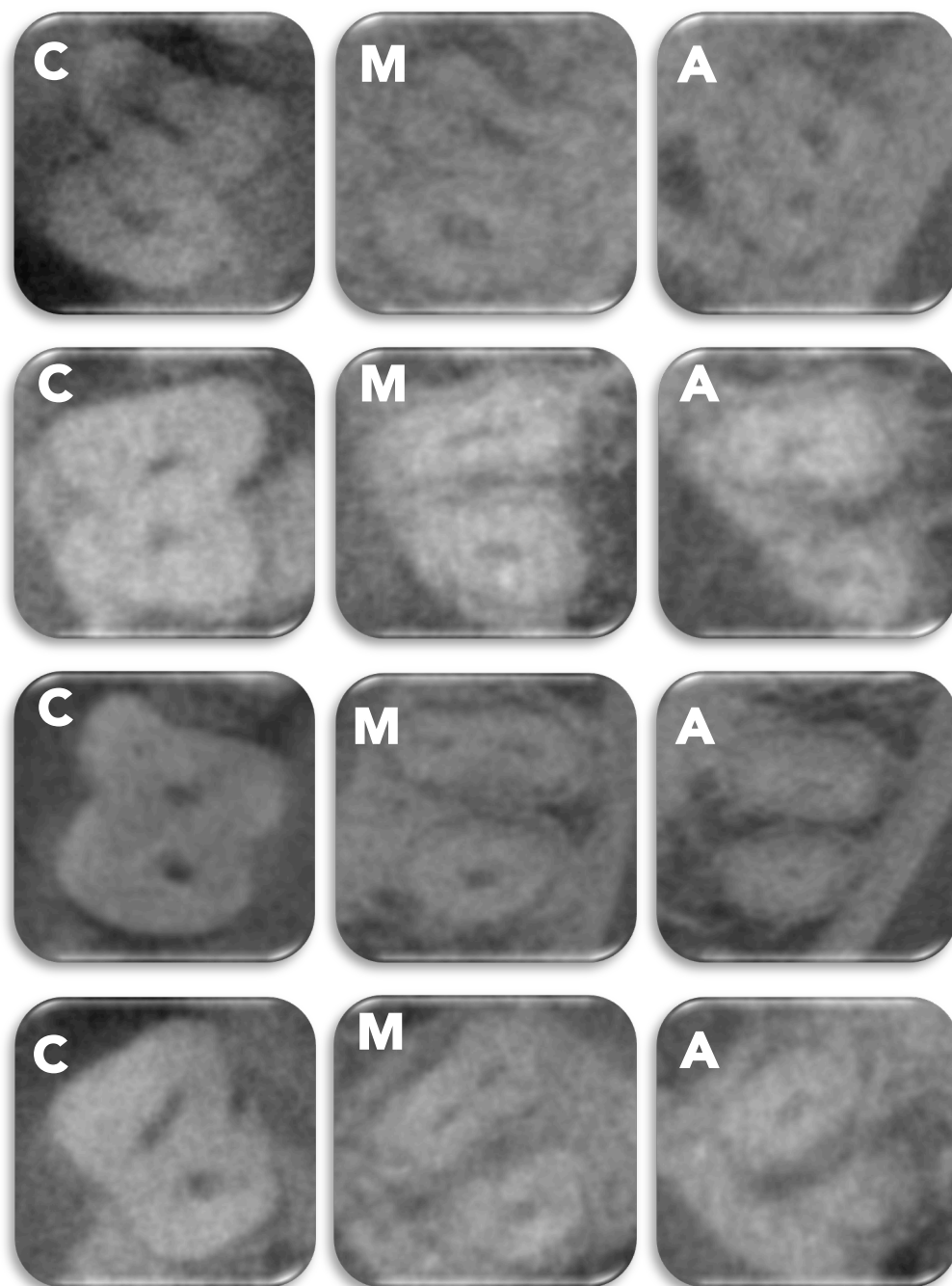


Fig. 13 Ejemplos de raíces mesiales con configuración de Vertucci (1984) tipo I (1' y 2' línea) y tipo III (3' y 4' línea) vistos a través de los tercios coronal (C), medio (M) y apical (A)

La presencia del conducto mesio-central se detectó en el 4,16% de las raíces mesiales de los molares mandibulares (fig. 14). Estos resultados están más en concordancia con los obtenidos por Fabra-Campos (1985), que reportó una incidencia del 2,76% y, de Pablo y cols. (2010) y Estrela y cols. (2015) un 2,3%. En estudios realizados en poblaciones asiáticas y africanas se observa una amplia variación en los porcentajes de aparición de este tercer conducto mesial, que van desde el 3,3% hasta el 13,3% (Goel y cols., 1991; Caliskan y cols., 1995; Gulabivala y cols., 2001; Wasti y cols., 2001 y Ahmed y cols., 2007). Aunque los estudios no han podido demostrar una relación directa entre el número de conductos y el grupo étnico -sí el número de raíces- (de Pablo y cols., 2010), Nosrat y cols. en 2015 encontraron una menor incidencia de conductos mesio-centrales entre individuos de raza blanca (12,2%) que entre aquellos que no lo eran (29,4%). Otros estudios realizados con grupos multiétnicos también encontraron diferencias en la aparición de conductos mesio-centrales entre los diferentes grupos étnicos que participaban en la investigación, entre población asiática y caucásica (Martins y cols., 2018) y población brasileña y turca (Versiani y cols., 2016), lo que sugiere la asociación al tipo de población.

Otros autores apoyan el hecho de que los conductos mesio-centrales se localizan con mayor facilidad en pacientes de poca edad con pulpas jóvenes (Azim y cols., 2015), mientras otros se sitúan en el extremo opuesto y aseguran que la aparición del conducto mesio-central se produce por la compresión del tejido pulpar y la aparición de tabiques en el interior de la raíz, que provoca la deposición de dentina secundaria (Peiris y cols., 2008). En nuestro estudio no se conocía la edad, sexo ni raza de los pacientes participantes.

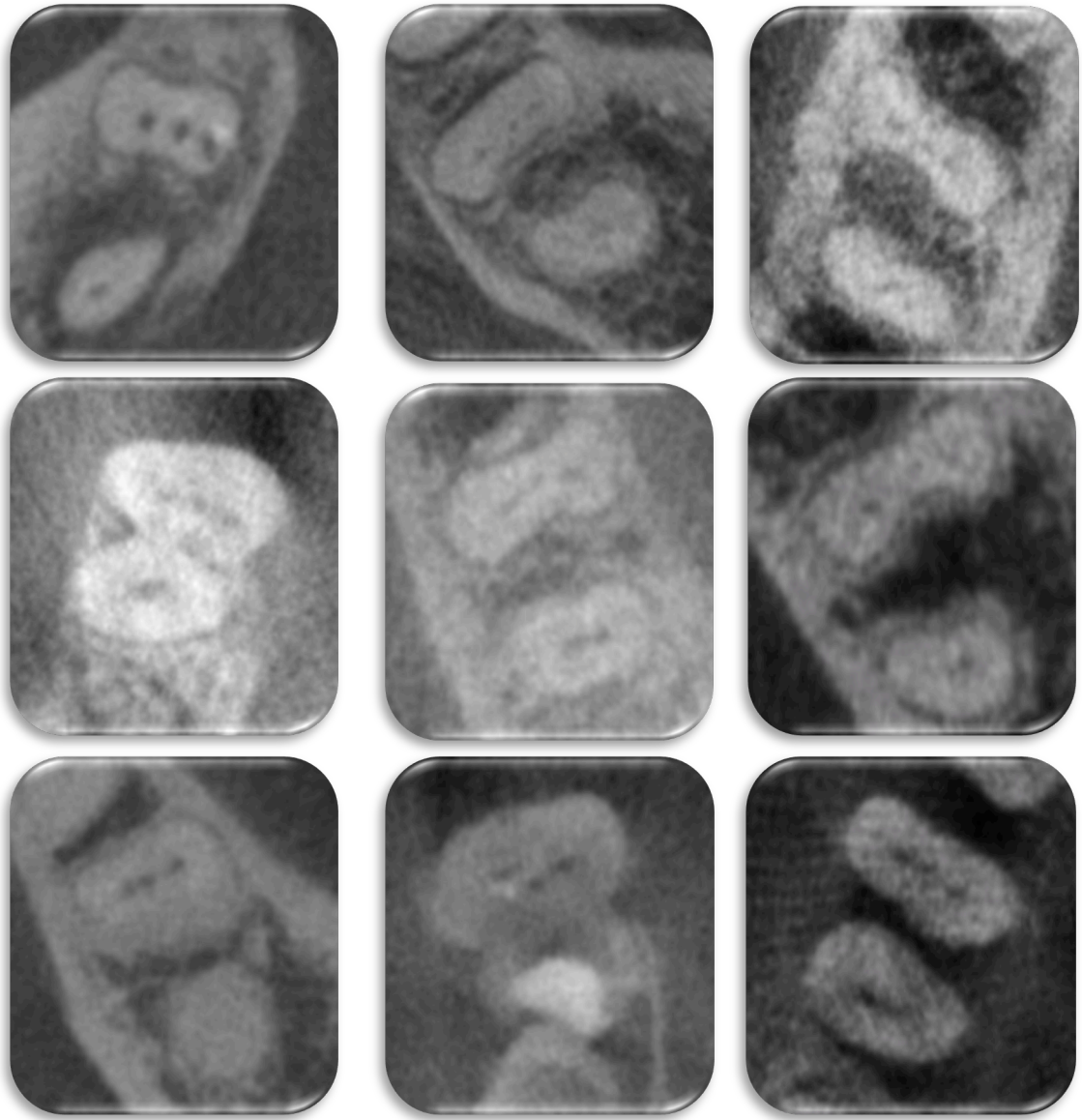


Fig. 14 Ejemplos de conductos mesio-centrales
en raíces mesiales de primeros y segundos
molares mandibulares

Otra variación anatómica que puede aparecer en los molares mandibulares es la presencia de una tercera raíz; bien en la zona mesio-vestibular de la raíz mesial (*Radix paramolaris*) o en la zona disto-lingual de la raíz distal (*Radix entomolaris*). En este estudio se observaron 4 casos de *Radix paramolaris* (fig. 15), todos en segundos molares, que representan el 1,22% de los segundos molares estudiados y el 0,64% del total de la muestra. Esto concuerda con la incidencia del 0% para el primer molar y del 0,5% para el segundo molar reportado por Visser en su tesis doctoral de 1948 (citado por Calberson y cols., 2007).

Encontramos la presencia del *Radix entomolaris* (fig. 16) en el 1,76% de la muestra (2,34% en primeros molares y 1,22% en segundos molares). Los resultados son similares a la prevalencia del 0,68% al 4,2% de prevalencia para poblaciones caucásicas arrojada por los estudios de Skidmore y Bjorndal (1971), de Souza-Freitas (1971), Curzon (1973), Ferraz y Pécora (1993), De Moor y cols. (2004), Calberson y cols. (2007), Schäfer y cols. (2009), de Pablo y cols. (2010), Torres y cols. (2015) y Tomaszewska y cols. (2018).

Estas cifras aumentan significativamente cuando miramos estudios realizados en poblaciones de origen mongoloide como la china -31,97% (Gu y cols., 2010)-, taiwanesa - 25,61% (Tu y cols., 2009)- o coreana - 26,1% (Choi y cols., 2015)-. Estos datos hacen pensar que la formación de una tercera raíz en los molares mandibulares debe, más bien, ser considerado como un rasgo genético, en donde el origen étnico es un factor predisponente; y no como una alteración o anomalía del desarrollo dentario (Abella y cols., 2012).

Aunque en nuestro estudio la raza o grupo étnico de los participantes no fue registrado ni tomado en cuenta como criterio de inclusión, cuando analizamos los resultados y los comparamos a los obtenidos por otros estudios llevados a cabo en diferentes tipos de población; podemos decir que nuestra muestra esta conformada, en su mayoría, por individuos caucásicos.

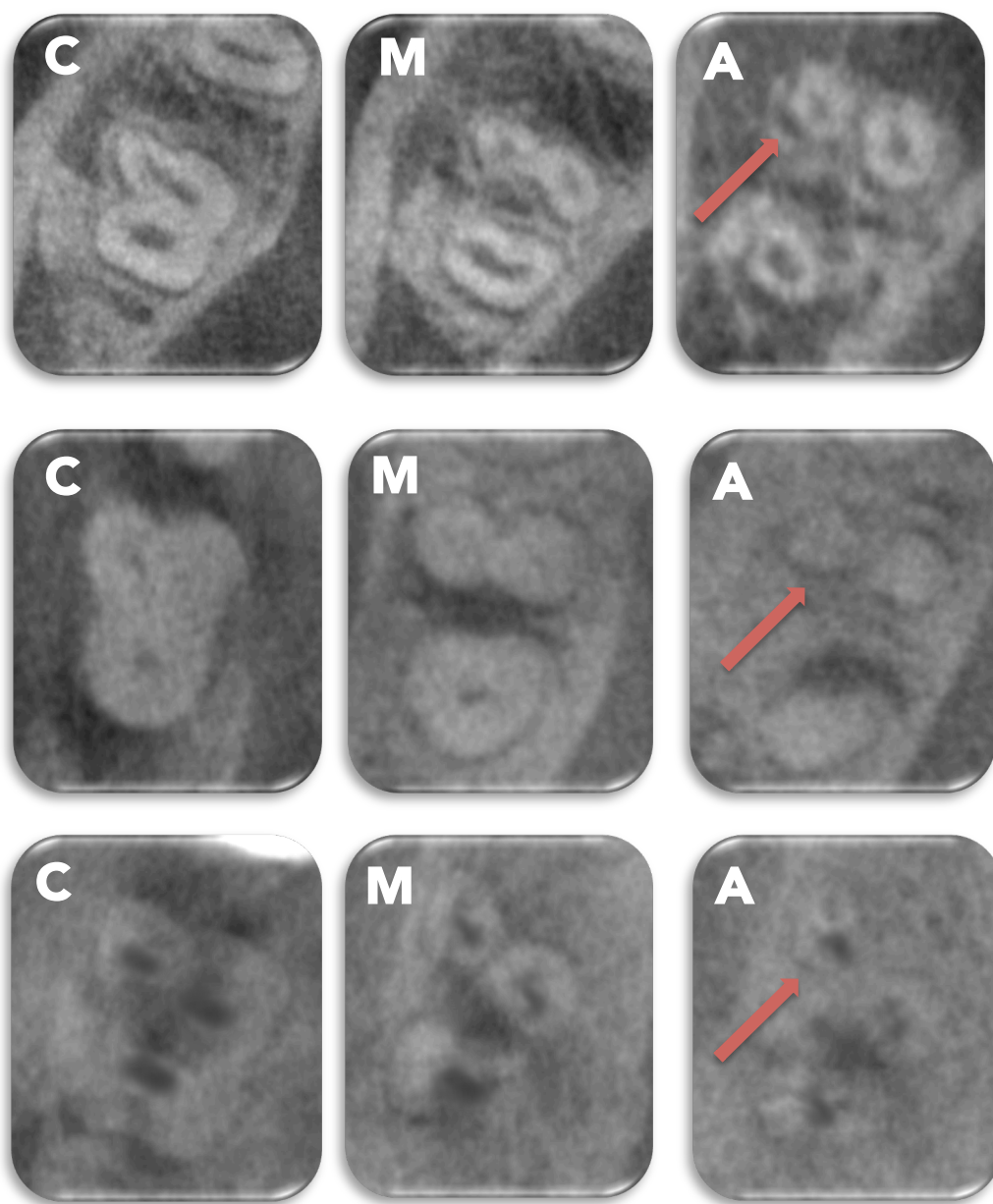


Fig. 15 Ejemplos de *Radix paramolaris* (flecha roja), encontrados en la muestra, vistos a través de los tercios coronal (C), medio (M) y apical (A)

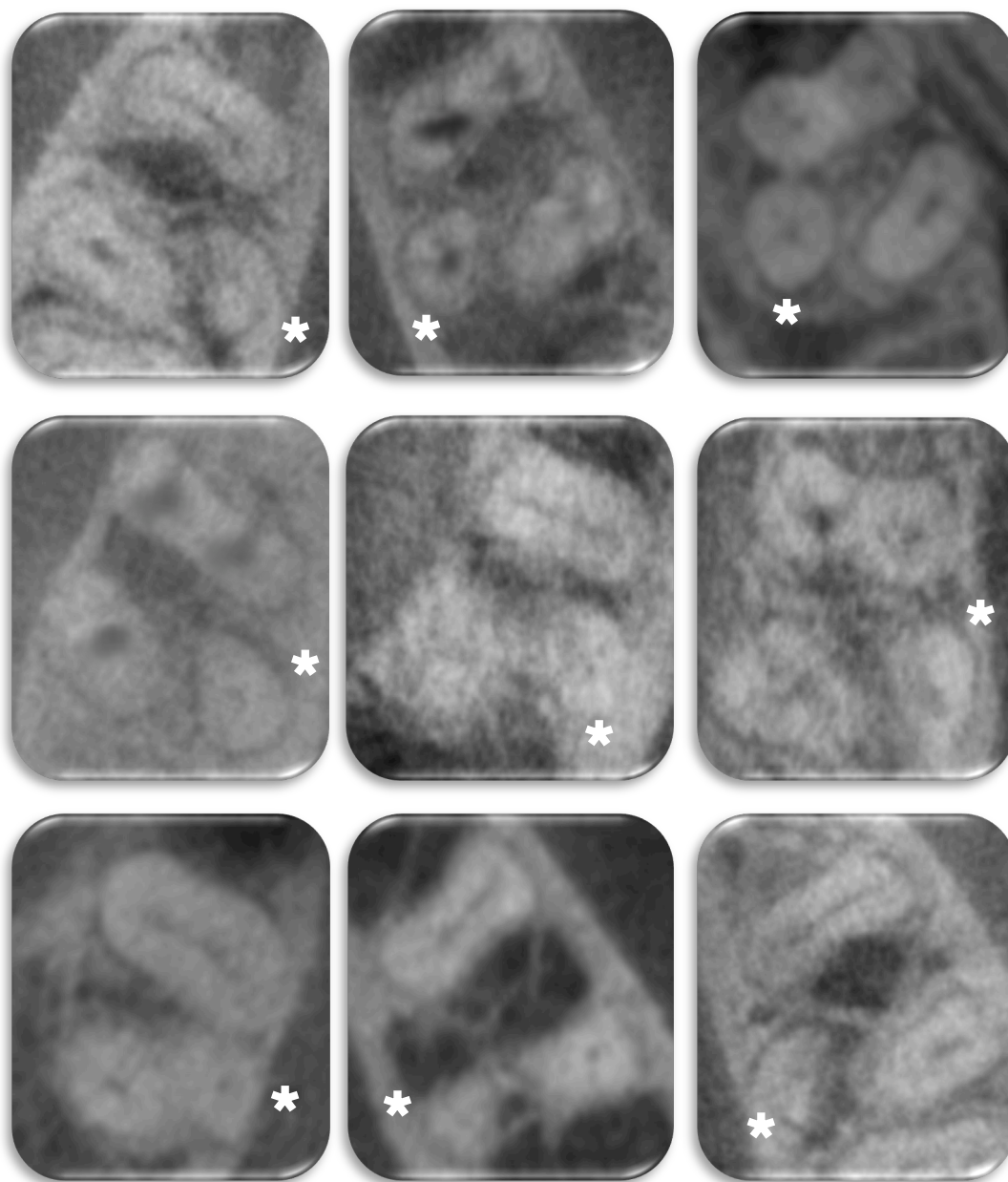


Fig.16 Ejemplos de *Radix entomolaris* (*)
encontrados en la muestra

Se consiguieron dos segundos molares izquierdos que presentaban una raíz en la zona disto-mesial y que no se adaptaba a ninguna de la clasificaciones utilizadas, por lo que no pudo ser clasificado (fig. 17). Si tenemos en cuenta la nomenclatura descrita por Albuquerque y cols. (2012), estos dientes se clasificarían 3.7 MBr, L-MBr, MLR, D para el ejemplo superior y 3.7 MBR, MLR, D para el ejemplo inferior (fig. X). Por alteraciones de este tipo es que estos autores prefieren no utilizar definiciones como *radix entomolaris* o *paramolaris*, que no hacen posible su clasificación, y prefieren una nomenclatura basada en la descripción de las raíces y los conductos según su posición anatómica.

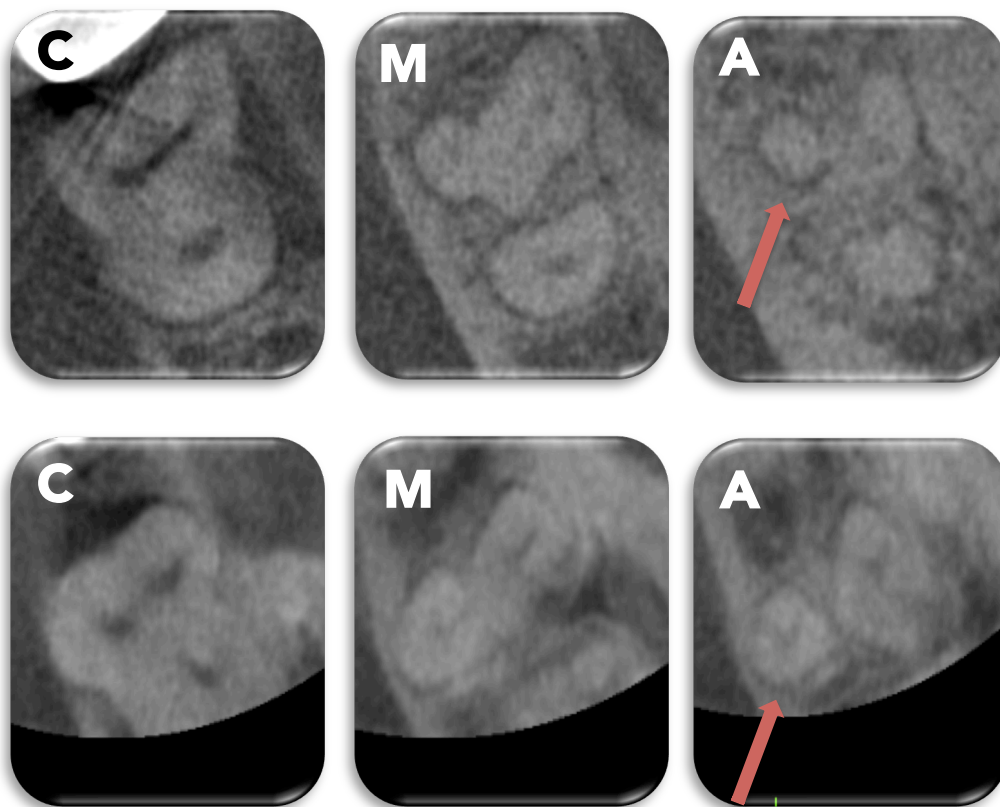


Fig. 17 Molares no clasificables por presentar una raíz accesoria en la zona mesio-lingual (flecha roja), a través de los tercios coronal (C), medio (M) y apical (A)

Esta misma clasificación podría aplicarse al único espécimen de cuatro raíces encontrado en la muestra. Un segundo molar mandibular izquierdo de cuatro raíces y cuatro conductos que denominaremos 3.7 MBR, MLR, DBR, DLR, en lugar de la nomenclatura tradicional de MB, ML, DB, DL. De esta manera se describe claramente que el molar tiene cuatro raíces con un conducto en cada uno de ellos (fig. 18). Esto representa un 0,3% de todos los segundos molares estudiados, lo que concuerda con los datos publicados por Libfeld y Rotstein en 1989; quienes después de estudiar 1.200 segundos molares mandibulares reportaron una incidencia del 0,4% de molares con cuatro raíces.

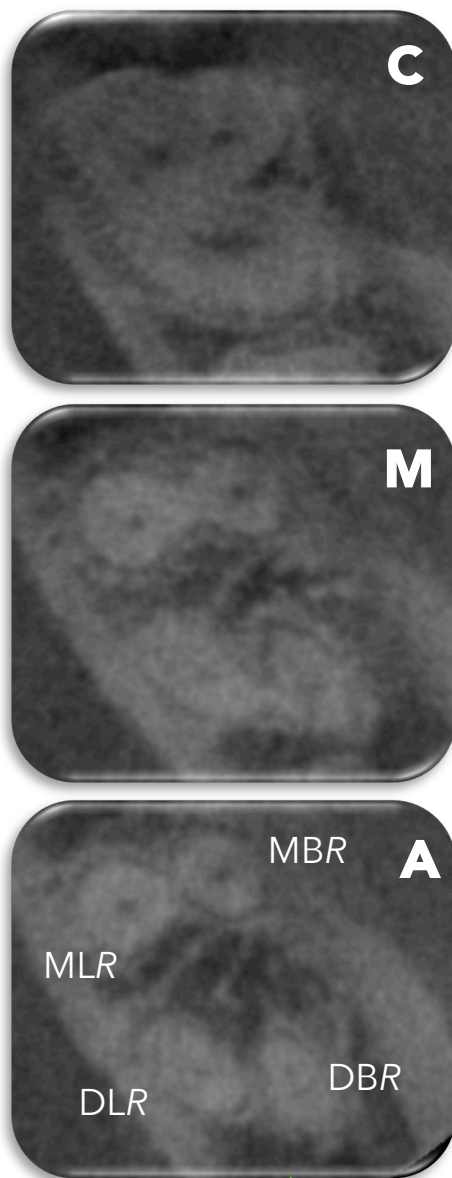
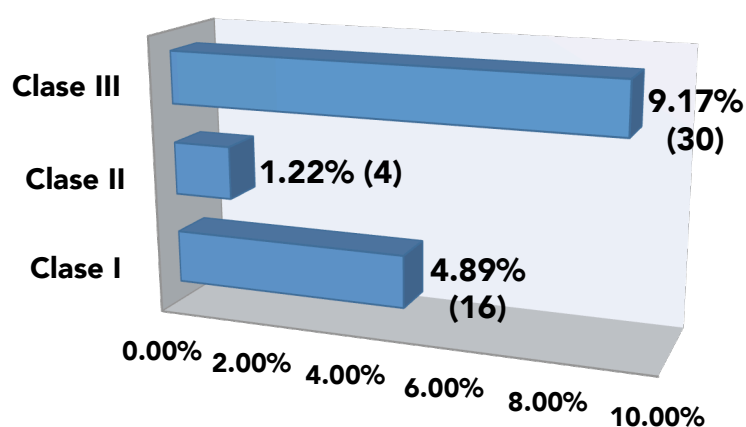


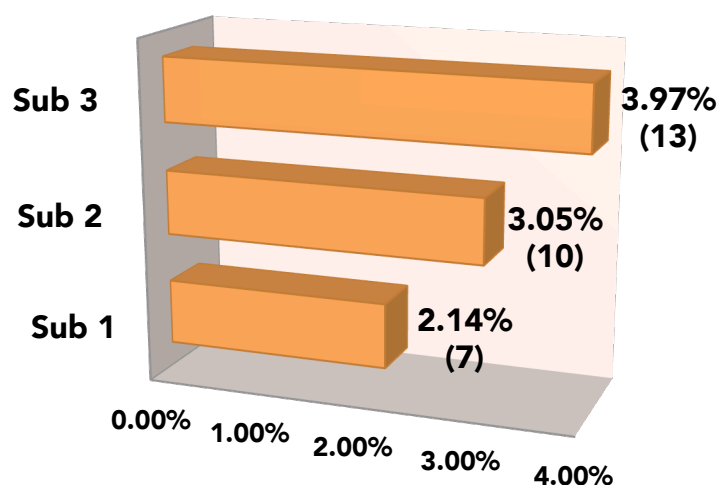
Fig.18 Vista de un segundo molar mandibular izquierdo, de cuatro raíces, por tercios (coronal -C-, medio -M-, apical -A-).

La configuración del sistema de conducto en C se observó en un 0,33% de primeros molares (fig. 19). Solo 1 de los 298 primeros molares examinados presentaba una configuración en C, clase III subdivisión 2.

Un 15,29% (50) de los segundos molares tenía conductos en C, distribuidos como se muestra en los gráficos 2 y 3.



Gráf. 2 Prevalencia de conductos en C en segundo molares según la clasificación de Melton (1991)



Gráf. 3 Prevalencia de las subdivisiones de los conductos en C clase III de los segundos molares

Nuestros resultados concuerdan con los descritos por von Zuben y cols. (2017), quienes realizaron un estudio de la prevalencia de conductos en C, en segundos molares mandibulares, en 9 regiones diferentes del globo, en el cual encontraron una incidencia global del 13,9%. Aunque si analizamos sus resultados por regiones, en países europeos (Portugal, España e Inglaterra) hay de un 7,8% a un 11,0%, inferior a nuestro estudio. En el trabajo de Plotino y cols. (2013) realizado en población italiana describen un 6,2% de conductos en C en segundos molares mandibulares, porcentaje mucho menor al encontrado en este estudio.

Los porcentajes se elevan considerablemente cuando miramos estudios realizados sobre poblaciones asiáticas, como el de Zhang y cols. (2011) con un 29% o el de von Zuben y cols. (2017) con un 44% en población china; o los realizados en población coreana por Jin y cols. (2006) y Seo y cols. (2012) con un 44,5% y 42,6% respectivamente.

Esto concuerda con la mayor incidencia de los conductos en C en poblaciones del este asiático reportados por la literatura y la asociación étnica de la alteración (Jafarzadeh y Wu, 2007; Kato y cols., 2014).

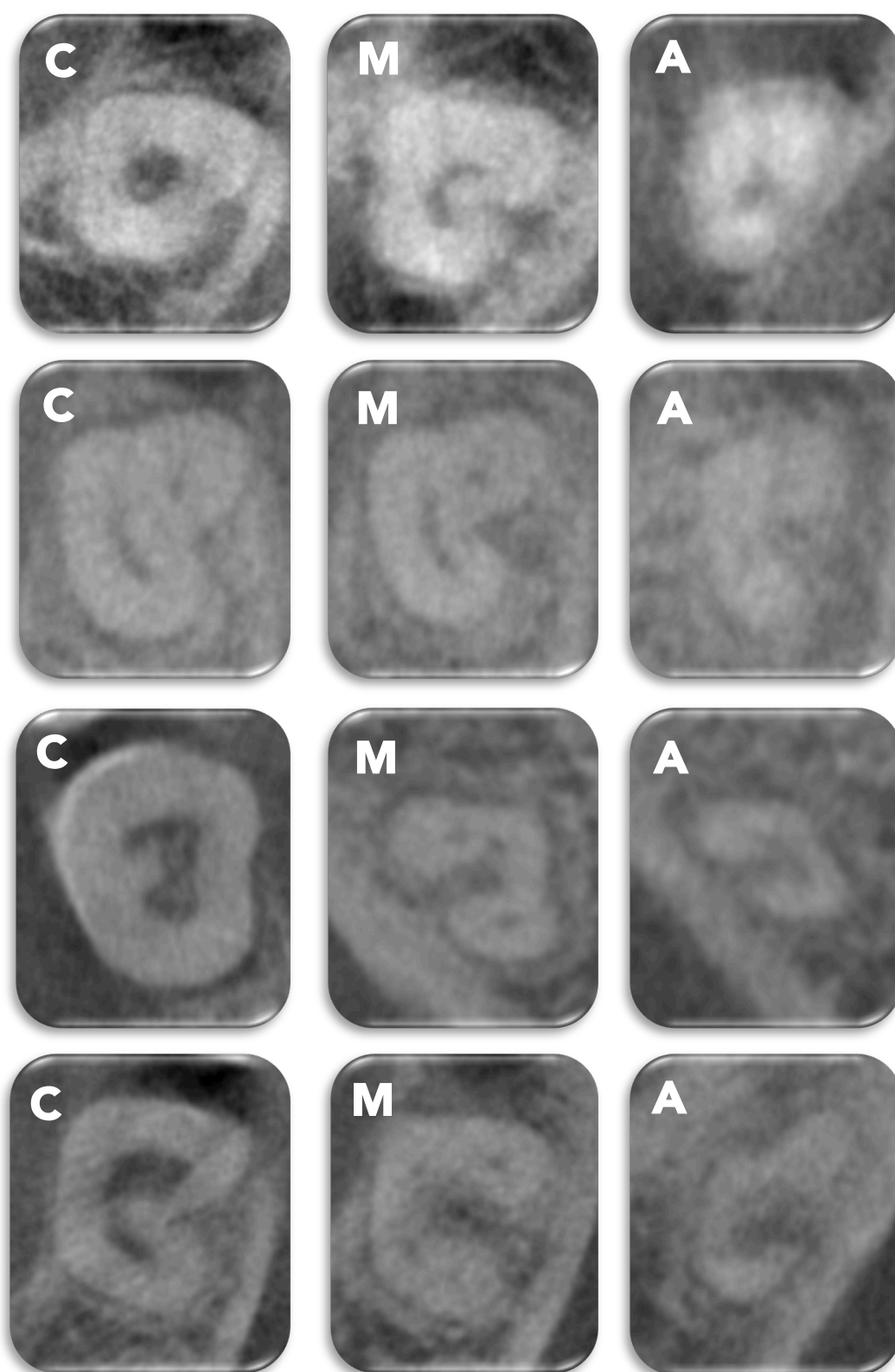


Fig.19 Ejemplos de sistemas de conductos en C. De arriba abajo: tipo I, tipo II, tipo III sub. 1 y tipo III sub. 2 según la clasificación de Melton (1991) vistos por tercios (coronal -C- , medio - M- apical -A-).

En este estudio observamos, con una prevalencia del 0,8%, una alteración llamada sinostosis o piramidalismo en los segundo molares mandibulares. La sinostosis es la unión de todas las raíces del diente y se diferencia de los conductos en C porque la raíz adquiere forma piramidal, o cuadrangular, no presenta plegamientos o surcos profundos en su superficie y presenta un amplio conducto central (Amoroso-silva y cols., 2018) -fig 20-. Sarr y cols. (2000), en un estudio sobre población senegalesa, encontró una prevalencia del 4.6% de piramidalismo. En 2004, Fan y cols. reportaron 4 dientes de este tipo en un estudio realizado sobre población china. En 2011, Ioannidis y cols. presentaron un caso clínico en el que un paciente presentaba 3 molares mandibulares (un primero y dos segundos) con una única raíz de forma cuadrangular y un conducto central amplio.

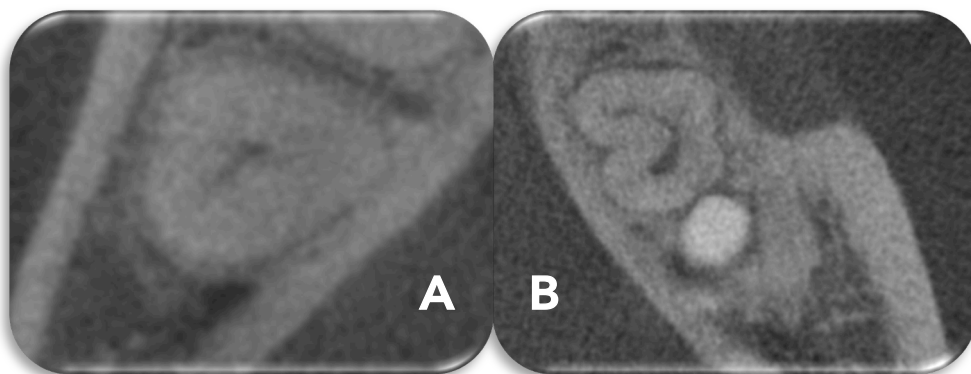


Fig. 20 Diferencia entre sinostosis radicular (A) y un sistema deconductos en C (B)

La incidencia del taurodontismo se estima entre un 2,5% y un 3.5% para población caucásica (Marques da Silva y cols., 2010), en un estudio en población africana se encontró una prevalencia del 48% (Sarr y cols., 2000) y Ezoddini y cols. en 2007 reportó un 7,5% de casos en un estudio sobre población Iraní. El taurodontismo se asocia a

tratamientos oncológicos durante la niñez y una gran variedad de síndromes y alteraciones del desarrollo (Bharti y cols., 2009; Luder, 2015); Schalk-van der Weide y cols., en su trabajo de 1993, encontraron una incidencia de taurodontismo del 28,9% al estudiar las radiografías de pacientes con oligodoncia. En el presente estudio no se observó ningún caso de taurodontismo.

El conocimiento profundo de la anatomía dental interna es importante no sólo porque es la base del éxito del tratamiento endodóntico, sino también por su importancia antropológica, ya que se han observado variaciones anatómicas relevantes asociadas a grupos étnicos (Assadian y cols., 2016).

Se han propuesto diversos métodos para el estudio de la anatomía dental interna, entre ellos se incluyen modelos de resina plástica por inyección, radiografía convencional, digital y mejorada con medios de contraste, histología, microscopía electrónica de barrido, diafanización y tinción con tinta o diferentes tipos de tomografías (CT, TCHC, μ -CT, etc). Una técnica ideal de estudio anatómico debería ser precisa, fácil de llevar a cabo, no destructiva, reproducible y aplicable en estudios *in vivo* (Neelakantan y cols., 2010).

Todas ellas han sido utilizadas durante décadas de manera exitosa y arrojando información valiosa sobre los sistemas de conductos, pero todas presentan ventajas y desventajas ampliamente discutidas en la literatura. Las primeras técnicas utilizadas requerían el desgaste o desmineralización de las muestras, lo que era destructivo, produciendo artefactos y distorsiones de la anatomía interna de los especímenes (Chang y cols., 2013).

Después de estudiar la literatura disponible autores como Vertucci (2005), Neelakantan y cols. (2010), de Pablo y cols. (2010) o Lee y cols. (2014) han reportado que la técnica de diafanización y tinción con tinta es considerada como el patrón oro de los métodos de estudio morfológico. Por el contrario Weber y cols. (2015) y Assadian y cols. (2016) aseguran que, según la literatura, la evaluación de cortes transversales de diferentes zonas a lo largo de la raíz debe ser considerado como el patrón oro. Michetti y cols. (2010) encontraron que había una alta correlación entre esta técnica y la TCHC; Ordinola-Zapata y cols. (2017) también encontraron una correlación alta entre la TCHC y la diafanización y tinción con tinta china.

Para Vertucci (1984) la posibilidad de estudiar la raíz dental intacta y transparente, permitía al investigador ver más claramente, y en tres dimensiones, el sistema de conductos radiculares, sus ramificaciones y relación con la superficie externa de la raíz. Para otros autores las técnicas de diafanización, además de destruir la muestra y limitarse a la experimentación *ex vivo*, tiene otra desventaja, durante el proceso la desmineralización debilita las estructura internas distorsionando su morfología y haciéndolo más vulnerable a estímulos mecánicos. Aunque son pequeñas alteraciones, estructuras anatómicas delicadas como anastomosis entre conductos, conductos accesorios o pequeñas ramificaciones pueden verse afectadas. Estas distorsiones provocadas en el interior de las raíces pueden llevar al estrechamiento o cierre de la anatomía impidiendo la penetración de las sustancias colorantes y perdiéndose la identificación de los detalles finos del sistema de conductos (Lee y cols., 2014).

Las mejoras introducidas en los últimos años en los sistemas de imagen digital han permitido realizar estudios anatómicos *in vivo* utilizando métodos no destructivos como la radiología digital o la TCHC.

El uso de radiografías digitales ha introducido muchas mejoras en cuanto a visionado y tratamiento de la imagen, pero no ha podido solucionar el hecho de que las imágenes que se obtienen son una representación en dos dimensiones de estructuras bidimensionales. Este hecho hace que no sean capaces de reproducir de forma precisa y reproducible el número de conductos de un diente (Patel y cols. 2009). En 2008, Matherne y cols. llevaron a cabo un estudio *ex vivo* cuyo objetivo era identificar el número de conductos radiculares en imágenes radiográficas y de TCHC de 72 dientes extraídos. Encontraron que, con las radiografías digitales paralelizadas, en un 40% de los casos, los endodoncistas participantes, fallaron en identificar al menos un conducto.

Las imágenes de la TCHC son más precisas que las de las radiografías periapicales. Permiten estudios en diferentes planos del eje axial de diente o reconstrucciones tridimensionales de las estructuras y se pueden rotar en cualquier plano espacial sorteando estructuras anatómicas que puedan obstaculizar la visión. El inconveniente de esta técnica es que materiales de alta densidad como postes o gutaperchas producen artefactos que distorsionan la imagen. Esta técnica permite, no solo realizar estudios *in vivo* retrospectivos y que incluyan a un gran número de individuos, sino que también permite realizar estudios *ex vivo* con dientes extraídos (Michetti y cols., 2010).

Otro método tomográfico utilizado en el estudio del sistema de conductos es el μ -TC que, al igual de la TCHC, permite el estudio transversal de las raíces sin destruirlas. La μ -TC consigue imágenes más precisas y detalladas de la anatomía radicular interna ya que utiliza un mayor tiempo de exposición y un tamaño de vóxel más pequeño (19,6 μ m) durante el escaneado de la muestra, además el aparato permite un giro de 360° durante la adquisición de la imagen, consiguiéndose un modelo tridimensional más preciso y detallado del interior de la raíz (Domark y cols., 2013).

La desventaja es que por el tamaño del aparato es imposible realizar un estudio de una persona viva; por eso los estudios con esta metodología solo se realizan en dientes extraídos o secciones de huesos maxilares o mandibulares (Ordinola-Zapata y cols., 2017). A esto se suma la considerable cantidad de tiempo requerido para realizar el escaneo y reconstrucción de la imagen de cada una de las muestras (aproximadamente 40 minutos), la alta dosis de radiación y el alto costo del equipo (Datta y cols., 2015), lo que hace que el uso del μ -TC se limite exclusivamente a estudios *ex vivo* con dientes extraídos y no sean adecuados para el uso sobre pacientes en el ámbito clínico; contrario a lo que ocurre con el TCHC, que es capaz de adquirir imágenes tridimensionales, con mínima distorsión, de la región maxilofacial en un tiempo de escaneado de entre 10 y 70 segundos y dosis de radiación más bajas (Grande y cols., 2012).

Es por esto que la TCHC ha sido ampliamente utilizada por los investigadores para el estudio de la morfología del sistema de conductos, ya que es una tecnología que puede utilizarse en estudios *in*

vivo, lo que es la forma más adecuada para analizar la prevalencia de características anatómicas porque los dientes extraídos, para realizar estudios *ex vivo* pueden sufrir daños durante el proceso de extracción que altere los resultados obtenidos. Se ha demostrado que el TCHC, aunque no tiene una menor resolución de imagen, es una herramienta fiable para estudiar la clasificación de Vertucci (1984), comparado con el μ -TC. Además, permite el análisis de grupos muestrales amplios, recolección de información de todos los dientes de un mismo paciente y tiene un menor coste económico (Patel y cols., 2009; Martins y cols., 2018).

La nano-tomografía computarizada (nano-TC), es una técnica de estudio por imagen *in vitro* de alta resolución que representa un avance con respecto al μ -TC ya que el punto focal puede reducirse hasta un diámetro menor a 400 nanómetros, lo que mejora la resolución espacial obtenida comparado con el μ -TC (Kampschulte y cols., 2016).

En Odontología el nano-TC ha sido utilizado en el campo de la Implantología y la Odontología restauradora para el estudio de la osteointegración, microestructura y nano-filtración de materiales restauradores de resina. En Endodoncia, el nano-TC, puede ser una herramienta muy y fiable para el estudio muy detallado de la anatomía radicular, el comportamiento de los materiales de relleno en contacto con la dentina radicular y sus túbulos, así como la bioactividad de estos materiales (Ahmed, 2016; Huang y cols., 2017). Esta técnica también puede servir de complemento a los estudios histológicos en la investigación de procesos patológicos, como en el estudio llevado a cabo por Mavridou y cols. (2016), en el que estudian la estructura del

tejido dental de un incisivo con reabsorción cervical externa. Los resultados confirmaron que el nano-TC fue capaz de identificar la frontera entre el tejido de reparación y la dentina y que la resolución de la imagen era superior a la del μ -TC.

CONCLUSIONES FINALES

4

Después de analizar los resultados obtenidos y, teniendo en cuenta los objetivos planteados al inicio de la investigación, podemos concluir que:

1. El patrón morfológico radicular de los molares mandibulares es de dos raíces, mesial y distal. También puede aparecer una tercera raíz en la zona mesio-vestibular (*Radix paramolaris*) y/o disto-lingual (*Radix entomolaris*).
2. La morfología del sistema de conductos, mas prevalente, en los molares mandibulares es de tres conductos, dos en la raíz mesial y uno en la raíz distal. Se pueden encontrar morfologías con tres conductos en la raíz mesial o sistemas de conductos en C.
3. La configuración de Vertucci más encontrada en las raíces mesiales de los primeros molares fueron dos conductos acabados en dos ápices independientes y, para los segundos molares, dos conductos que se unían para acabar en un ápice común.
4. No se encontraron diferencias significativas en la aparición de alteraciones del patrón y morfología radicular entre las hemiarquadas izquierda y derecha, pero si, entre los primeros y segundos molares.
5. Se encontró una prevalencia muy baja, menos del 2%, de otro tipo de alteraciones del patrón morfológico más prevalente.

De esta forma, y a modo de resumen, podemos decir que el patrón morfológico radicular y la configuración del sistema de conductos más

prevalente en los molares mandibulares son 2 raíces (mesial y distal) y 3 conductos (2 mesiales y 1 distal). En los 1os molares pueden aparecer alteraciones como un tercer conducto en la raíz mesial (conducto mesio-central) o raíces accesorias en la zona disto-lingual (*Radix entomolaris*); y en los segundos molares sistemas de conductos en C o raíces accesorias en la zona mesio-vestibular (*Radix paramolaris*).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5

Abella F, Patel S, Durán-Sindreu F, Mercadé M, Roig M. Mandibular first molars with disto-lingual roots: review and clinical management. *Int Endod J* 2012; 45(11):963-978.

Abramovich A. Embriología de la región maxilofacial 3ª ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 1997.

Acar B, Kamburoğlu K, Tatar İ, Arıkan V, Çelik HH, Yüksel S, Özen T. Comparison of micro-computerized tomography and cone-beam computerized tomography in the detection of accessory canals in primary molars. *Imaging Sci Dent* 2015; 45(4):205-211.

Ahmed HA, Abu-bakr NH, Yahia NA, Ibrahim YE. Root and canal morphology of permanent mandibular molars in a Sudanese population. *Int Endod J* 2007; 40(10):766-771.

Ahmed HM. Nano-computed tomography: current and future perspectives. *Restor Dent Endod* 2016; 41(3):236-238.

Ahmed HMA, Dummer PMH. A new system for classifying tooth, root and canal anomalies. *Int Endod J* 2018; 51(4):389-404.

Ahmed HMA, Neelakantan P, Dummer PMH. A new system for classifying accessory canal morphology. *Int Endod J* 2018; 51(2):164-176.

Ahmed HMA, Versiani MA, De-Deus G, Dummer PMH. A new system for classifying root and root canal morphology. *Int Endod J*. 2017 Aug;50(8):761-770. Epub 2016 Oct 17.

al Shalabi RM, Omer OE, Glennon J, Jennings M, Claffey NM. Root canal anatomy of maxillary first and second permanent molars. *Int Endod J* 2000; 33(5):405-414.

Almenar A. Morfología de los senos maxilares y sus relaciones con la arcada alveolar superior en cráneos humanos adultos de la provincia de Valencia [Tesis Doctoral]. Director: Martínez-Almagro, A. Valencia: Universitat de València; 1988. 266p.

Alt KW, Türp JC. 3.2 Hereditary dental anomalies. En: Alt KW, Rösing FW, Teschler-Nicola M. *Dental Anthropology. Fundamentals, limits and prospects.* Viena: Springer-Verlag; 1998. p. 95-128.

American Association of Endodontists (AAE). Cone beam computed tomography in Endodontics. Endodontics: colleagues for excellence [Internet]. Summer 2011 [citado 2017]. Disponible en: <https://www.aae.org/specialty/wp-content/uploads/sites/2/2017/06/ecfe-summer-11-final.pdf>

American Association of Endodontists (AAE). Glossary of endodontic terms 9th ed. [Internet]. Chicago: American Association of Endodontists (AAE); 2016 [citado 2017]. p.18 Disponible en: <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/glossary-endodontic-terms/>

Anthony LP, Grossman LI. A brief history of root-canal therapy in the United States. Jour A.D.A. 1945; 32(1):43-50.

Ash M, Nelson S. Wheeler. Anatomía, fisiología y oclusión dental 8^a ed. Madrid: Elsevier España; 2004.

Asociación Española de Endodoncia (AEDE). Folletos divulgativos: En qué consiste una Endodoncia? [Internet]. Madrid: Asociación Española de Endodoncia (AEDE); nd [citado 2017]. Disponible en: http://www.aede.info/includes/publicaciones/Endodoncia_que_es.jpg

Assadian H, Dabbaghi A, Gooran M, Eftekhar B, Sharifi S, Shams N, Dehghani-Najvani A, Tabesh H. Accuracy of CBCT, digital radiography and cross-sectioning for the evaluation of mandibular incisor root canals. Iran Endod J 2016; 11(2):106-110.

Azim AA, Deutsch AS, Solomon CS. Prevalence of middle mesial canals in mandibular molars after guided troughing under high magnification: an in vivo investigation. J Endod 2015; 41(2):164-168.

Ballullaya SV, Vemuri S, Kumar PR. Variable permanent mandibular first molar: review of literature. J Conserv Dent 2013; 16(2):99-110

Barker BC, Lockett BC, Parsons KC. The demonstration of root canal anatomy. Aust Dent J. 1969; 14(1):37-41.

- Brau E.** Anatomía dental interna. En: Canalda C, Brau E. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas 2ª ed. Barcelona: Masson; 2006. p. 13-29.
- Baumgartner C, Siqueira JF, Sedgley CM, Kishen A.** Microbiology of endodontic disease. En: Ingle JL, Bakland LK, Baumgartner JC. Ingle's Endodontics 6th ed. Hamilton: BC Decker; 2008. p. 221-308.
- Benjamin KA, Dowson J.** Incidence of two root canals in human mandibular incisor teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1974; 38(1):122-126.
- Berkovitz B, Holland G, Moxham B.** Oral Anatomy, Histology and Embryology 4th ed. Missouri: Mosby Elsevier; 2009.
- Bernick S, Nedelman C.** Effect of aging on the human pulp. J Endod 1975; 1(3):88-94.
- Bharti R, Chandra A, Tikku AP, Wadhwani KK.** "Taurodontism" an endodontic challenge: a case report. J Oral Sci 2009; 51(3):471-474.
- Bhaskar S, Orban B.** Orban's oral histology and embryology. St. Louis: Mosby; 1976.
- Black GV.** Descriptive anatomy of the human teeth. Philadelphia: S.S. White; 1902.
- Blattner TC, George N, Lee CC, Kumar V, Yelton CD.** Efficacy of cone-beam computed tomography as a modality to accurately identify the presence of second mesiobuccal canals in maxillary first and second molars: a pilot study. J Endod 2010; 36(5):867-870.
- Bueno R.** Manual de Endodoncia. Parte 2. Historia de la Endodoncia. Rev Oper Dent Endod [Internet]. 2006 [citado 2017]; 5:21. Disponible en: http://www.infomed.es/rode/index.php?option=com_content&task=view&id=83&Itemid=29
- Burke FM, Samarawickrama DY.** Progressive changes in the pulpo-dentinal complex and their clinical consequences. Gerodontology 1995; 12(12):57-66.

Calberson FL, De Moor RJ, Deroose CA. The radix entomolaris and paramolaris: clinical approach in endodontics. *J Endod* 2007; 33(1):58-63.

Calışkan MK, Pehlivan Y, Sepetçioğlu F, Türkün M, Tuncer SS. Root canal morphology of human permanent teeth in a Turkish population. *J Endod* 1995; 21(4):200-204.

Carrotte P. 21st century endodontics. Part 5. *Int Dent J* 2005; 55(6):388-394.

Cascaes AM, Bielemann RM, Clark VL, Barros AJ. Effectiveness of motivational interviewing at improving oral health: a systematic review. *Rev Saude Publica* 2014; 48(1):142-153.

Castellucci A. A brief history of Endodontics. En: Castellucci A. *Endodontics* vol. 1. Florencia: Edizioni Martina; 1990. p. 2-5.

Chang SW, Lee JK, Lee Y, Kum KY. In-depth morphological study of mesiobuccal root canal systems in maxillary first molars: review. *Restor Dent Endod* 2013; 38(1):2-10.

Choi MR, Moon YM, Seo MS. Prevalence and features of distolingual roots in mandibular molars analyzed by cone-beam computed tomography. *Imaging Sci Dent* 2015; 45(4):221-226.

Cooke HG 3rd, Cox FL. C-shaped canal configurations in mandibular molars. *J Am Dent Assoc* 1979; 99(5):836-839.

Coolidge ED. Past and present concepts in endodontics. *J Am Dent Assoc* 1960; 61:676-688.

Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, Schwartz SA, Schindler WG. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *J Endod* 2007; 33(9):1121-1132.

Crăciunescu EL, Boariu M, Ioniță C, Pop DM, Sinescu C, Romînu M, Negruțiu ML. Micro-CT and optical microscopy imagistic investigations of root canal morphology. *Rom J Morphol Embryol* 2016; 57(3):1069-1073.

Curzon ME. Three-rooted mandibular permanent molars in English Caucasians. *J Dent Res* 1973; 52(1):181.

Davis SR, Brayton SM, Goldman M. The morphology of the prepared root canal: a study utilizing injectable silicone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972; 34(4):642-648.

Datta P, Zahir S, Kundu GK, Dutta K. Different methods of studying root canal morphology of human tooth: a review. *BanglaJOL* 2015; 5(2):59-63.

De Coster PJ, Mortier G, Marks LA, Martens LC. Cranial suture biology and dental development: genetic and clinical perspectives. *J Oral Pathol Med* 2007; 36(8):447-455.

De Moor RJ, Deroose CA, Calberson FL. The radix entomolaris in mandibular first molars: an endodontic challenge. *Int Endod J* 2004; 37(11):789-799.

de Pablo OV, Estevez R, Péix Sánchez M, Heilborn C, Cohenca N. Root anatomy and canal configuration of the permanent mandibular first molar: a systematic review. *J Endod* 2010; 36(12):1919-1931.

de Souza-Freitas JA, Lopes ES, Casati-Alvares L. Anatomic variations of lower first permanent molar roots in two ethnic groups. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971; 31(2):274-278.

Deepak BS, Subash TS, Narmatha VJ, Anamika T, Snehil TK, Nandini DB. Imaging techniques in endodontics: an overview. *J Clin Imaging Sci* 2012; 2:13.

Dineshshankar J, Sivakumar M, Balasubramanium AM, Kesavan G, Karthikeyan M, Prasad VS. Taurodontism. *J Pharm Bioallied Sci* 2014; 6(1):S13-5.

Domark JD, Hatton JF, Benison RP, Hildebolt CF. An ex vivo comparison of digital radiography and cone-beam and micro computed tomography in the detection of the number of canals in the mesiobuccal roots of maxillary molars. *J Endod* 2013; 39(7):901-905.

Estrela C, Bueno MR, Couto GS, Rabelo LE, Alencar AH, Silva RG, Pécora JD, Sousa-Neto MD. Study of Root Canal Anatomy in Human Permanent Teeth in A Subpopulation of Brazil's Center Region Using Cone-Beam Computed Tomography. Part 1. *Braz Dent J* 2015; 26(5):530-536.

Ezoddini AF, Sheikha MH, Ahmadi H. Prevalence of dental developmental anomalies: a radiographic study. *Community Dent Health* 2007; 24(3):140-144.

Fabra-Campos H. Unusual root anatomy of mandibular first molars. *J Endod*. 1985; 11(12):568-572.

Fan W, Fan B, Gutmann JL, Cheung GS. Identification of C-shaped canal in mandibular second molars. Part I: radiographic and anatomical features revealed by intraradicular contrast medium. *J Endod* 2007; 33(7):806-810.

Fernández R, Cardona JA, Cadavid D, Álvarez LG, Restrepo FA. Survival of endodontically treated roots/teeth based on periapical health and retention: a 10-year retrospective cohort study. *J Endod* 2017; 43(12):2001-2008.

Ferraz JA, Pécora JD. Three-rooted mandibular molars in patients of Mongolian, Caucasian and Negro origin. *Braz Dent J* 1993; 3(2):113-117.

Filpo-Perez C, Bramante CM, Villas-Boas MH, Húngaro Duarte MA, Versiani MA, Ordinola-Zapata R. Micro-computed tomographic analysis of the root canal morphology of the distal root of mandibular first molar. *J Endod* 2015; 41(2):231-236.

Fuss Z, Lustig J, Tamse A. Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. *Int Endod J* 1999; 32(4):283-286.

Gani OA, Boiero CF, Correa C, Masin I, Machado R, Silva EJ, Vansan LP. Morphological changes related to age in mesial root canals of permanent mandibular first molars. *Acta Odontol Latinoam* 2014;27(3):105-109.

García-Barbero J. *Patología y Terapéutica Dental*. Madrid: Editorial Síntesis; 2011.

Garg N, Garg, A. Introduction and scope of Endodontics. En: Garg N, Garg A. *Textbook of Endodontics* 3^d ed. Nueva Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers Ltd.; 2014. p. 1-6.

Goel NK, Gill KS, Taneja JR. Study of root canals configuration in mandibular first permanent molar. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 1991; 8(1):12-14.

- Gómez de Ferraris M, Campos A.** Histología y embriología bucodental. Madrid: Editorial Panamericana; 2002.
- Gorlin RJ, Boyle PE.** Lips, mouth, teeth, salivary glands, and neck. En: Anderson WAD. Pathology vol. 2. 5th ed. St. Louis: Mosby; 1966. p. 798-841.
- Grande NM, Plotino G, Gambarini G, Testarelli L, D'Ambrosio F, Pecci R, Bedini R.** Present and future in the use of micro-CT scanner 3D analysis for the study of dental and root canal morphology. Ann Ist Super Sanita 2012;48(1):26-34.
- Grossman LI.** Endodontics 1776-1976: a bicentennial history against the background of general dentistry. J Am Dent Assoc 1976; 93(1):78-87.
- Grosso de la Herrán J, Rodríguez-Ponce A.** Concepto de Endodoncia. Recuerdo histórico. En: Rodríguez-Ponce A. Endodoncia consideraciones actuales. Caracas: Amolca, C.A.; 2003.
- Gu Y, Lu Q, Wang H, Ding Y, Wang P, Ni L.** Root canal morphology of permanent three-rooted mandibular first molars--part I: pulp floor and root canal system. J Endod. 2010; 36(6):990-994.
- Gu YC.** A micro-computed tomographic analysis of maxillary lateral incisors with radicular grooves. J Endod 201; 37(6):789-792.
- Gulabivala K, Aung TH, Alavi A, Ng YL.** Root and canal morphology of Burmese mandibular molars. Int Endod J. 2001; 34(5):359-370.
- Gulabivala K, Ng Y-L.** Tooth organogénesis, morphology and phisiology. En: Gulabivala K, Ng Y-L. Endodontics 4th ed. Londres: Mosby; 2014. p. 2-32.
- Gutmann JL.** History of Endodontics. En: Ingle JL, Bakland LK, Baumgartner JC. Ingle's Endodontics 6th ed. Hamilton: BC Decker; 2008. p. 36-85.
- Handge T, Nawathe A** History of Dentistry GJRA 2015; 4(11):36.
- Hargreaves K.** Cohen. Vías de la pulpa. Madrid: Elsevier España; 2011.

Hegde M, Hegde P, Shetty A, Nidhi L, Varghese L. Cone Beam Computed Tomography in endodontics: an overview. *RRJDS* 2014; 2(4):12-17.

Helvacioğlu-Yigit D, Sinanoğlu A. Use of cone-beam computed tomography to evaluate C-shaped root canal systems in mandibular second molars in a Turkish subpopulation: a retrospective study. *Int Endod J* 2013; 46(11):1032-1038.

Hess W. The anatomy of the root canals of the teeth of the permanent dentition. Londres: John Bale, Sons and Danielsson Ltd; 1925.

Hession RW. Endodontic morphology. I. An alternative method of study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1977; 44(3):456-462.

Hillson S. Dentine. En: *Dental Anthropology*. Cambridge: Cambridge University Press; 1996. p. 182-197.

Hoën MM, Pink FE. Contemporary endodontic retreatments: an analysis based on clinical treatment findings. *J Endod* 2002; 28(12):834-836.

Hoffmann-Axthelm W. History of Dentistry. Chicago: Quintessence; 1981.

Hu JC, Simmer JP. Developmental biology and genetics of dental malformations. *Orthod Craniofac Res* 2007; 10(2):45-52.

Huang RY, Cheng WC, Chen CJ, Lin CD, Lai TM, Shen EC, Chiang CY, Chiu HC, Fu E. Three-dimensional analysis of the root morphology of mandibular first molars with distolingual roots. *Int Endod J* 2010; 43(6):478-484.

Huang Y, Celikten B, de Faria Vasconcelos K, Ferreira Pinheiro Nicolielo L, Lippiatt N, Buyuksungur A, Jacobs R, Orhan K. Micro-CT and nano-CT analysis of filling quality of three different endodontic sealers. *Dentomaxillofac Radiol* 2017; 46(8):20170223.

Ingle JI, Beveridge EE, Cligk DH, Weichman JA. Terapéutica endodóntica moderna. En: Ingle JI, Bakland LF. *Endodoncia* 4ª ed. México D.F.: McGraw Hill Interamericana Editores; 1996. p. 1-55.

Jafarzadeh H, Wu YN. The C-shaped root canal configuration: a review. *J Endod* 2007; 33(5):517-523.

Jafarzadeh H, Azarpazhooh A, Mayhall JT. Taurodontism: a review of the condition and endodontic treatment challenges. *Int Endod J* 2008; 41(5):375-388.

Jin GC, Lee SJ, Roh BD. Anatomical study of C-shaped canals in mandibular second molars by analysis of computed tomography. *J Endod* 2006; 32(1):10-13.

Kampschulte M, Langheinirch AC, Sender J, Litzlbauer HD, Althöhn U, Schwab JD, Alexandre-Lafont E, Martels G, Krombach GA. Nano-Computed Tomography: technique and applications. *Rofo* 2016; 188(2):146-154.

Kang SH, Kim BS, Kim Y. Cracked teeth: distribution, characteristics, and survival after root canal treatment. *J Endod* 2016; 42(4):557-562.

Kato A, Ziegler A, Higuchi N, Nakata K, Nakamura H, Ohno N. Aetiology, incidence and morphology of the C-shaped root canal system and its impact on clinical endodontics. *Int Endod J* 2014; 47(11):1012-1033.

Kaya S, Adiguzel O, Yavuz I, Tumen EC, Akkus Z. Cone-beam dental computerized tomography for evaluating changes of aging in the dimensions central superior incisor root canals. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2011; 16(3):e463-466.

Keene HJ, Keene HJ. On heterochrony in heterodonty a review of some problems in tooth morphogenesis and evolution. *Am J Phys Anthropol* 1991; 34(13):251-282.

Kim Y, Perinpanayagam H, Lee JK, Yoo YJ, Oh S, Gu Y, Lee SP, Chang SW, Lee W, Baek SH, Zhu Q, Kum KY. Comparison of mandibular first molar mesial root canal morphology using micro-computed tomography and clearing technique. *Acta Odontol Scand* 2015; 73(6):427-432.

Kuttler Y. Endodontica práctica para estudiantes y preofesionales de la odontología. México: Editora A.L.P.H.A.; 1961.

Lababidi EA. Discuss the impact technological advances in equipment and materials have made on the delivery and outcome of endodontic treatment. Aust Endod J 2013; 39(3):92-97.

Lane AJ. The course and incidence of multiple canals in the mesio-buccal root of the maxillary first molar. J Br Endod Soc 1974; 7(1):9-11.

Lee KW, Kim Y, Perinpanayagam H, Lee JK, Yoo YJ, Lim SM, Chang SW, Ha BH, Zhu Q, Kum KY. Comparison of alternative image reformatting techniques in micro-computed tomography and tooth clearing for detailed canal morphology. J Endod 2014; 40(3):417-422.

Leeson T, Leeson C, Paparo A. Texto/Atlas de histología. México: Editorial McGraw-Hill Interamericana; 1996.

Libfeld H, Rotstein I. Incidence of four-rooted maxillary second molars: literature review and radiographic survey of 1,200 teeth. J Endod 1989; 15(3):129-131.

Lindhe J, Karring T. Periodontología clínica e implantología odontológica. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2005.

Lisi S, Peterková R, Peterka M, Vonesch JL, Ruch JV, Lesot H. Tooth morphogenesis and pattern of odontoblast differentiation. Connect Tissue Res 2003;44 (Suppl 1):167-170.

López-Piñero JM. Lecciones de historia de la odontología. Valencia: Instituto de Estudios Documentales e Históricos sobre la Ciencia; 1990.

Lowman JV, Burke RS, Pelleu GB. Patent accessory canals: incidence in molar furcation region. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1973; 36(4):580-584.

Luder HU. Malformations of the tooth root in humans. Front Physiol 2015; 6:307.

Lynch CD, McConnell RJ. The cracked tooth syndrome. *J Can Dent Assoc* 2002; 68(8):470-475.

Madani ZS, Mehraban N, Moudi E, Bijani A. Root and canal morphology of mandibular molars in a selected Iranian population using Cone-Beam Computed Tomography. *Iran Endod J* 2017; 12(2):143-148.

Mărgărit R, Andrei OC. Anatomical variations of mandibular first molar and their implications in endodontic treatment. *Rom J Morphol Embryol* 2011; 52(4):1389-1392.

Mărgărit R, Andrei OC, Mercuț V. Anatomical variation of mandibular second molar and its implications in endodontic treatment. *Rom J Morphol Embryol* 2012;53(2):413-416.

Marques-da-Silva B, Baratto-Filho F, Abuabara A, Moura P, Losso EM, Moro A. Multiple taurodontism: the challenge of endodontic treatment. *J Oral Sci* 2010; 52(4):653-658.

Martins JNR, Marques D, Mata A, Caramês J. Root and root canal morphology of the permanent dentition in a Caucasian population: a cone-beam computed tomography study. *Int Endod J* 2017; 50(11):1013-1026.

Martins JNR, Ordinola-Zapata R, Marques D, Francisco H, Caramês J. Differences in root canal system configuration in human permanent teeth within different age groups. *Int Endod J* 2018; Jan 24. [Epub ahead of print].

Matherne RP, Angelopoulos C, Kulild JC, Tira D. Use of cone-beam computed tomography to identify root canal systems in vitro. *J Endod* 2008; 34(1):87-89.

Mavridou AM, Pyka G, Kerckhofs G, Wevers M, Bergmans L, Gunst V, Huybrechts B, Schepers E, Hauben E, Lambrechts P. A novel multimodular methodology to investigate external cervical tooth resorption. *Int Endod J* 2016; 49(3):287-300.

Melton DC, Krell KV, Fuller MW. Anatomical and histological features of C-shaped canals in mandibular second molars. *J Endod* 1991; 17(8):384-388.

Michetti J, Maret D, Mallet JP, Diemer F. Validation of cone beam computed tomography as a tool to explore root canal anatomy. *J Endod* 2010; 36(7):1187-1190.

Mjör IA, Pindborg JJ. Histología del diente humano. Barcelona: Editorial Labor; 1974.

Mortman RE, Ahn S. Mandibular first molars with three mesial canals. *Gen Dent* 2003; 51(6):549-551.

Mueller AH. Morphology of root canals. *J AM Dent Assoc* 1936; 23:1698-1706.

Nair MK, Nair UP. Digital and advanced imaging in endodontics: a review. *J Endod* 2007; 33(1):1-6.

Nallapati S. Aberrant root canal anatomy: a review. *Endodontic Bulletin MES* 2007; 18:50-62.

Navarro LF, Luzi A, García AA, García AH. Third canal in the mesial root of permanent mandibular first molars: review of the literature and presentation of 3 clinical reports and 2 in vitro studies. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2007 Dec; 12(8):E605-609.

Neelakantan P, Subbarao C, Subbarao CV. Comparative evaluation of modified canal staining and clearing technique, cone-beam computed tomography, peripheral quantitative computed tomography, spiral computed tomography, and plain and contrast medium-enhanced digital radiography in studying root canal morphology. *J Endod* 2010; 36(9):1547-1551.

Nelson S. Wheeler's Dental Anatomy, Physiology and Occlusion 10th ed. Philadelphia: Saunders; 2014.

Nosrat A, Deschenes RJ, Tordik PA, Hicks ML, Fouad AF. Middle mesial canals in mandibular molars: incidence and related factors. *J Endod* 2015; 41(1):28-32.

Oehlers FA. Dens invaginatus (dilated composite odontome). I. Variations of the invagination process and associated anterior crown forms. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1957; 10(11):1204-1218.

Okumura T. Anatomy of the root canals. *J Am Dent Assoc* 1927; 14(4): 632-636.

Oporto GH, Fuentes RE, Soto CC. Variaciones anatómicas radiculares y sistemas de canales. *Int J Morphol* 2010; 28(3):945-950.

Ordinola-Zapata R, Monteiro Bramante C, Gagliardi Minotti P, Cavalini Cavenago B, Gutmann JL, Moldauer BI, Versiani MA, Hungaro Duarte MA. Micro-CT evaluation of C-shaped mandibular first premolars in a Brazilian subpopulation. *Int Endod J* 2015; 48(8):807-813.

Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Versiani MA, Moldauer BI, Topham G, Gutmann JL, Nuñez A, Duarte MA, Abella F. Comparative accuracy of the Clearing Technique, CBCT and Micro-CT methods in studying the mesial root canal configuration of mandibular first molars. *Int Endod J* 2017; 50(1):90-96.

Owen R. *Odontography; or, A treatise on the comparative anatomy of the teeth; their physiological relations, mode of development, and microscopic structure, in the vertebrate animals.* Londres: Beilliére; 1840.

Patel S, Dawood A, Whaites E, Pitt Ford T. New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J* 2009; 42(6):447-462.

Pawar AM, Pawar M, Kfir A, Singh S, Salve P, Thakur B, Neelakantan P. Root canal morphology and variations in mandibular second molar teeth of an Indian population: an in vivo cone-beam computed tomography analysis. *Clin Oral Investig* 2017; 21(9):2801-2809.

Pécora JD. Una breve historia de los métodos de estudio de la anatomía interna de los dientes humanos [Internet]. 2005 [citado en 2018]. Disponible en: http://143.107.206.201/restauradora/temas_endo/temas_cast/anatomia.html

Peiris HR, Pitakotuwage TN, Takahashi M, Sasaki K, Kanazawa E. Root canal morphology of mandibular permanent molars at different ages. *Int Endod J* 2008; 41(10):828-835.

Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, Bravo M, Castelo-Baz P, Ruíz-Piñón M, Baca P. Cone-beam computed tomographic study of root anatomy and canal configuration of molars in a Spanish population. *J Endod* 2017; 43(9):1511-1516.

Peterkova R, Hovorakova M, Peterka M, Lesot H. Three-dimensional analysis of the early development of the dentition. *Aust Dent J* 2014; 59(Suppl 1):55-80.

Philippas GG. Influence of occlusal wear and age on formation of dentin and size of pulp chamber. *J Dent Res* 1961; 40(6):1186-1198.

Pineda F, Kuttler Y. Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972; 33(1):101-110.

Pineda F. Roentgenographic investigation of the mesiobuccal root of the maxillary first molar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973; 36(2):253-260.

Plotino G, Tocci L, Grande NM, Testarelli L, Messineo D, Ciotti M, Glassman G, D'ambrosio F, Gambarini G. Symmetry of root and root canal morphology of maxillary and mandibular molars in a white population: a cone-beam computed tomography study in vivo. *J Endod* 2013; 39(12):1545-1548.

Pomeranz HH, Eidelman DL, Goldberg MG. Treatment considerations of the middle mesial canal of mandibular first and second molars. *J Endod* 1981; 7(12):565-568.

Przesmycka A, Tomczyk J. Differentiation of root canal morphology: a review of the literature. *Anthrop Rev* 2016; 79(3):221-239.

Queiroz PM, Rovaris K, Gaêta-Araujo H, Marzola de Souza Bueno S, Freitas DQ, Groppo FC, Haite-Neto F. Influence of Artifact Reduction Tools in Micro-

computed tomography images for Endodontic research. J Endod 2017; 43(12):2108-2111.

Raisingani D, Gupta S, Mital P, Khullar P. Anatomic and diagnostic challenges of C-shaped root canal system. Int J Clin Pediatr Dent 2014; 7(1):35-39.

Real Academia Española (RAE). Diccionario de la Lengua Española v.e 23.1 [Internet]. Madrid: Real Academia Española; 2017 [citado 2017]. Disponible en: <http://dle.rae.es/>

Reyhani MF, Rahimi S, Shahi S. Root canal therapy of a mandibular first molar with five root canals: a case report. Iran Endod J 2007; 2(3):110-112.

Ribeiro FC, Consolaro A. Importancia clínica y antropológica de la raíz distolingual en molares inferiores permanentes. Endodoncia 1997; 15(2):72-78.

Ricucci D, Siqueira JF Jr. Anatomic and microbiologic challenges to achieving success with endodontic treatment: a case report. J Endod 2008; 34(10):1249-1254.

Robertson D, Leeb IJ, McKee M, Brewer E. A clearing technique for the study of root canal systems. J Endod 1980; 6(1):421-424.

Rodríguez-Niklitschek CA, Oporto GH, Garay I, Salazar LA. Clinical, imaging and genetic analysis of double bilateral radix entomolaris. Folia Morphol (Warsz) 2015; 74(1):127-132.

Roig M, Morelló S. Manual de Endodoncia. Parte 1. Concepto de Endodoncia. Rev Oper Dent Endod [Internet]. 2006 [citado 2017]; 5:20. Disponible en: http://www.infomed.es/rode/index.php?option=com_content&task=view&id=82&Itemid=0

Saberi N. CBCT within endodontics: an introduction. IDEA magazine 2013; 3(2):6-14.

Sarr M, Toure B, Kane AW, Fall F, Wone MM. [Taurodontism and the pyramidal tooth at the level of the molar. Prevalence in the Senegalese population 15 to 19 years of age] [Resumen]. *Odontostomatol Trop* 2000; 23(89):31-34. Francés.

Scarfe WC, Levin MD, Gane D, Farman AG. Use of cone beam computed tomography in endodontics. *Int J Dent* 2009; 2009:634567.

Schäfer E, Breuer D, Janzen S. The prevalence of three-rooted mandibular permanent first molars in a German population. *J Endod* 2009; 35(2):202-205.

Schalk-van der Weide Y, Steen WH, Bosman F. Taurodontism and length of teeth in patients with oligodontia. *J Oral Rehabil* 1993; 20(4):401-412.

Schroeder H. Oral Structural Biology: Embryology, Structure, and Function of Normal Hard and Soft Tissues of the Oral Cavity and Temporomandibular Joints. Stuttgart: Thieme Verlag; 1991.

Shafer WG, Levy BM. Tratado de Patología Bucal 4ª ed. México D.F.: Nueva editorial Panamericana; 2000.

Seo DG, Gu Y, Yi YA, Lee SJ, Jeong JS, Lee Y, Chang SW, Lee JK, Park W, Kim KD, Kum KY. A biometric study of C-shaped root canal systems in mandibular second molars using cone-beam computed tomography. *Int Endod J* 2012; 45(9):807-814.

Seow WK, Lai PY. Association of taurodontism with hypodontia: a controlled study. *Pediatr Dent* 1989; 11(3):214-219.

Shifman A, Chanannel I. Prevalence of taurodontism found in radiographic dental examination of 1,200 young adult Israeli patients. *Community Dent Oral Epidemiol* 1978; 6(4):200-203.

Silva EJ, Nejaim Y, Silva AV, Haiter-Neto F, Cohenca N. Evaluation of root canal configuration of mandibular molars in a Brazilian population by using cone-beam computed tomography: an in vivo study. *J Endod* 2013; 39(7):849-852.

Skidmore AE, Bjorndal AM. Root canal morphology of the human mandibular first molar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971; 32(5):778-784.

Song JS, Choi HJ, Jung IY, Jung HS, Kim SO. The prevalence and morphologic classification of distolingual roots in the mandibular molars in a Korean population. *J Endod* 2010; 36(4):653-657.

Souza-Flamini LE, Leoni GB, Chaves JF, Versiani MA, Cruz-Filho AM, Pécora JD, Sousa-Neto MD. The radix entomolaris and paramolaris: a micro-computed tomographic study of 3-rooted mandibular first molars. *J Endod* 2014; 40(10):1616-1621.

Štamfelj I. Who coined the term radix entomolaris? *Int Endod J* 2014; 47(8):810-811.

Ten Cate A. Oral histology. Development, structure and function. St. Louis: Mosby; 1986.

Tomaszewska IM, Skinningsrud B, Jarzębska A, Pękala JR, Tarasiuk J, Iwanaga J. Internal and external morphology of mandibular molars: an original micro-CT study and meta-analysis with review of implications for endodontic therapy. *Clin Anat* 2018 Mar 25. [Epub ahead of print].

Torneck C, Torabinejad M. Biology of the dental pulp and periradicular tissues. En: Walton R, Torabinejad M. *Principles and practice of Endodontics* 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 2002. p. 3-26.

Torres A, Jacobs R, Lambrechts P, Brizuela C, Cabrera C, Concha G, Pedemonte ME. Characterization of mandibular molar root and canal morphology using cone beam computed tomography and its variability in Belgian and Chilean population samples. *Imaging Sci Dent* 2015; 45(2):95-101.

Touré B, Faye B, Kane AW, Lo CM, Niang B, Boucher Y. Analysis of reasons for extraction of endodontically treated teeth: a prospective study. *J Endod* 2011; 37(11):1512-1515.

Tsao TF. Endodontic treatment in China. *Int Endod J* 1984; 17(3):163-175.

- Tu MG, Huang HL, Hsue SS, Hsu JT, Chen SY, Jou MJ, Tsai CC.** Detection of permanent three-rooted mandibular first molars by cone-beam computed tomography imaging in Taiwanese individuals. *J Endod* 2009; 35(4):503-507.
- Valerian Albuquerque D, Kottoor J, Velmurugan N.** A new anatomically based nomenclature for the roots and root canals-part 2: mandibular molars. *Int J Dent* 2012; 2012:814789.
- Vázquez D, Hetch P, Martínez ME.** Sinostosis radicular: estudio de frecuencia utilizando radiografía panorámica como método de diagnóstico. *Rev Odont Mex* 2012; 16(2):98-101.
- Versiani MA, Ordinola-Zapata R, Keleş A, Alcin H, Bramante CM, Pécora JD, Sousa-Neto MD.** Middle mesial canals in mandibular first molars: a micro-CT study in different populations. *Arch Oral Biol* 2016; 61:130-137.
- Vertucci F.** Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endod Topics* 2005; 10(1):3-29.
- Vertucci FJ.** Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984; 58(5):589-599.
- Visser JB.** Beitrag zur Kenntnis der menschlichen Zahnwurzelformen. Hilversum:Rotting,1948.
- von Zuben M, Martins JNR, Berti L, Cassim I, Flynn D, Gonzalez JA, Gu Y, Kottoor J, Monroe A, Rosas Aguilar R, Marques MS, Ginjeira A.** Worldwide prevalence of mandibular second molar C-shaped morphologies evaluated by Cone-Beam Computed Tomography. *J Endod* 2017; 43(9):1442-1447.
- Wasti F, Shearer AC, Wilson NH.** Root canal systems of the mandibular and maxillary first permanent molar teeth of south Asian Pakistanis. *Int Endod J* 2001;34(4):263-266.
- Wayman BE, Patten JA, Dazey SE.** Relative frequency of teeth needing endodontic treatment in 3350 consecutive endodontic patients. *J Endod* 1994; 20(8):399-401.

Weber MT, Stratz N, Fleiner J, Schulze D, Hannig C. Possibilities and limits of imaging endodontic structures with CBCT. *Swiss Dent J* 2015; 125(3):293-311. English, German.

Weng XL, Yu SB, Zhao SL, Wang HG, Mu T, Tang RY, Zhou XD. Root canal morphology of permanent maxillary teeth in the Han nationality in Chinese Guanzhong area: a new modified root canal staining technique. *J Endod* 2009; 35(5):651-656.

Wolf B. Pierre Fauchard, Surgeon-dentist: A Brief Account of the Beginning of Modern Dentistry, the First Dental Textbook, and Professional Life Two Hundred Years Ago. Minnesota: Pierre Fauchard Academy; 1941.

Yoshioka T, Villegas JC, Kobayashi C, Suda H. Radiographic evaluation of root canal multiplicity in mandibular first premolars. *J Endod* 2004; 30(2):73-74.

Yousuf W, Khan M, Mehdi H. Endodontic Procedural errors: frequency, type of error, and the most frequently treated tooth. *Int J Dent* 2015; 2015:673914.

Zaatar EI, al-Kandari AM, Alhomaidah S, al-Yasin IM. Frequency of endodontic treatment in Kuwait: radiographic evaluation of 846 endodontically treated teeth. *J Endod* 1997; 23(7):453-456.

Zadik Y, Sandler V, Bechor R, Salehrabi R. Analysis of factors related to extraction of endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 106(5):e31-35.

Zhang Q, Chen H, Fan B, Fan W, Gutmann JL. Root and root canal morphology in maxillary second molar with fused root from a native Chinese population. *J Endod* 2014; 40(6):871-875.

Zhang R, Wang H, Tian YY, Yu X, Hu T, Dummer PM. Use of cone-beam computed tomography to evaluate root and canal morphology of mandibular molars in Chinese individuals. *Int Endod J* 2011; 44(11):990-999.

Zillich R, Dowson J. Root canal morphology of mandibular first and second premolars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973; 36(5):738-744.

[୧୮]